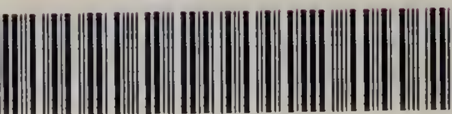
Edgar F Cyriax



DE LA RÉPARTITION

DU

SANG CIRCULANT

DANS L'ÉCONOMIE

(POUMONS, ENCÉPHALE, MUSCLES)

EXPÉRIENCES

faites au laboratoire de physiologie de l'Université de Bruxelles

PAR

le docteur Émile SPEHL

Aide de clinique médicale à l'Hôpital Saint-Pierre

THÈSE D'AGRÉGATION

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE BRUXELLES

BRUXELLES

OFFICE DE PUBLICITÉ

A.-N. LEBEGUE ET Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

46, RUE DE LA MADELEINE, 46

1883

Vu l'article 31 du règlement du 9 mars 1878, ainsi conçu :

« Toute thèse imprimée sans l'autorisation du Président « de la Faculté sera considérée comme non avenue et « étrangère à l'Université ; du reste, les opinions étant « libres, le récipiendaire pourra présenter au public les « résultats, quels qu'ils soient, de ses convictions person- « nelles ; l'Université n'entend, à cet égard, rien approuver « ni improuver. »

Le Président de la Faculté de médecine de l'Université de Bruxelles autorise l'impression de la thèse présentée par M. le docteur Émile Spehl, intitulée :

« *De la répartition du sang circulant dans l'économie.* »

Dr TIRIFAHY.

Bruxelles, le 3 *novembre* 1883.

UNIVERSITÉ DE BRUXELLES

MM. E. YSEUX, *Recteur.*
J. VAN SCHOOR, *Administrateur-Inspecteur.*
L. DENIS, *Secrétaire-Trésorier.*

FACULTÉ DE MÉDECINE

MM. S. TIRIFAHY, *Professeur ordinaire,* Président.
A. HERLANT, » *extraord.* Secrétaire.
T. GLUGE, » *émérite.*

MM. J. Crocq J.-B. Depaire L. De Roubaix Jos. De Smeth H. Guillery Th. Hauben P. Héger A.-V. Pigeolet W. Rommelaere J.-G. Sacré J. Thiry S. Tirifahy E. Van den Corput J.-M. Wehenkel E. Yseux	*Professeurs ordinaires*
E.-H. De Smet A. Herlant L. Stiénon	*Professeurs extraordinaires*
E. Kufferath	*Professeur extraord. suppléant*
L. Henriette L. Hyernaux J.-S. Lequime	*Professeurs honoraires*
E. Carpentier V. Jacques J. Thiriar A. Wilmart	*Agrégés suppléants*
A. Cappart J.-B. Coppez C. Delstanche E. De St-Moulin G. Renson E. Tordeus L. Wilmart	*Docteurs agrégés*

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

EXPOSÉ DE LA MÉTHODE

CHAPITRE PREMIER

CHAPITRE II

CHAPITRE III

CHAPITRE IV

CHAPITRE V

CHAPITRE VI

DEUXIÈME PARTIE

EXPÉRIENCES SUR LES ORGANES

CHAPITRE PREMIER

CHAPITRE II

CHAPITRE III

CHAPITRE IV

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES

BIBLIOGRAPHIE

Bailly. Tonicité musculaire. Thèse de Strasbourg, 1870.

Beaunis. Nouveaux éléments de physiologie humaine. Paris, 1876.

Béclard. Éléments de physiologie.

— De la contraction musculaire dans ses rapports avec la température animale. (Arch. génér. de médec., 1861.)

Bernard (Claude). Leçons sur la physiologie et la pathologie du système nerveux.

— Leçons sur les anesthésiques. (Revue des cours scientifiques, 1869.)

— Leçons sur les anesthésiques et sur l'asphyxie. Paris, 1875.

Bert (Paul). La pression barométrique. Paris, 1878.

Blake. Philadelphia med. examiner. 1849.

Blumenbach. Psychological journal, vol. V.

Brown-Séquard. Journal de Physiologie. Ann. 1874.

— Recherches sur l'irritabilité musculaire. Journal de Physiologie, 1859.

Brozeit. Bestimmung der absoluten Blutmenge im Thierkörper. In archiv. für die ges. Phys. Bd. III, 1870.

Bruns. Cité par Dechambre et par Jaccoud. (Dictionnaires de médecine).

Caldwell. Cité par Dechambre. Dict. de médecine.

Chevers (Norman). In Transactions of the international medical congress. London, 1881.

Cramer (A.). Bydrage tot de quantitatieve microscop. Analyse van het bloed. In Nederl. Lancet. 1855.

Dechambre. Dictionnaire encycloped. des sciences médic. Paris. 1880.

Drosdoff et Botschetschkaroff. Influence de la respiration d'air comprimé dans l'appareil de Waldenburg sur la pression artérielle. In Central bl. 1875.

Duchocq. Étude expérimentale sur la respiration d'air comprimé. Paris, 1875.

Dufresne (E.). Une station d'hiver pour les phtisiques dans les Hautes-Alpes. Neuchâtel, 1879.

DURHAM (A.). The Physiology of Sleep. In Guy's Hospital. Reports. T. VI, 1860.
FRANCHET (Paul). Des effets physiologiques et des applications thérapeutiques du bain d'air comprimé. Thèse de Paris, 1873.
GRAND. Considérations physiologiques et thérapeutiques sur l'emploi du bain d'air comprimé. Thèse de Paris, 1878.
GÜBLER. Codex medicamentarius. Paris.
HAMMOND. On vakefulness. Philadelphia, 1866.
HAYEM. De la numération des globules du sang. In Gazett. hebdomadaire, 1875.
— Des caract. anatomiques du sang dans les anémies. Revue des sciences, 10 juillet 1876.
— Recherches sur la coloration du sang. Société de Biologie, 1876, sé. du 4 nov.
HÉGER (Paul). Expériences sur la circulation du sang. Bruxelles, 1873.
— Recherches sur la circulation du sang dans les poumons. In Annales de l'Université de Bruxelles, 1881.
HÉGER et SPEHL. Recherches sur la fistule péricardique. In Archiv. de Biologie, vol. II, 1881.
HEIDENHAIN. Disquisitiones criticæ de sanguinis quantitate. Halis, 1858.
HERBERT (Alan). In Transact. of the internat. med. congress. London, 1881.
HERBST. Comment. hist. crit. et anat. phys. de sanguinis quantitate. 1822. (Cité par Milne-Edwards).
HERMANN. Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln. Berlin, 1867.
HIRTZ. Quelques considérations de climatologie à propos de la phtisie pulmonaire.
HOLINGREN. Methode zur Beobachtung des Kreislaufes in der Froschlunge. Ludwig's Festgabe, 1874.
HOPPE SEYLER. Ueber die chemisch, und optisch. eigensch. der Blut. In med. an. Blad, 1865.
— Beiträge zür Kentniss des Blutes des Menschen, In med. chem. Untersuch. Heft II, 1867.
— Weitere Mittheilungen über die eigenschaft. des Blutfarbestoffs. In Zeitschrift für physiol. chemie. 1877.
JACCOUD. Curabilité et traitement de la phtisie pulmonaire. Paris, 1881.
JONES. Smithsonian contributions to Knowledje. 1856.
JOURDANET (D.). Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme. Paris, 1876.

Labbé. Cité par Dechambre. Dictionnaire encycloped. des sciences médicales.

Lambert (J.). Étude clinique et expérimentale sur l'action de l'air comprimé et raréfié. Paris, 1877.

Langlet (J.-B.). Étude critique sur quelques points de la physiologie du sommeil. Thèse de Paris, 1872.

Legros et Onimus. Influence des courants électriques sur la circulation du sang. (Gazet. Méd. de Paris, 1868.)

Lehmann. Lehrbuch der physiologisch. chemie. Leipzig, 1853.

Lesser (von). Ueber die Vertheilung der rothen Blutscheiben in Blutstrome. In Arch. f. Anat. und physiol. de Dubois-Reymond. Leipzig, 1878.

Leyden. Cité par Dechambre. Dict. encyclop. des sciences médicales.

Liebreich et Bouchut. Cité par Dechambre.

Lombard. Les stations sanitaires dans les montagnes.

Longet. Recherches expérimentales sur les conditions nécessaires à l'entretien et à la manifestation de l'irritabilité musculaire. Paris, 1841.

Malassez. Nouvelle méthode de numération des globules rouges et des globules blancs du sang. In Journal de physiol. norm. et pathol., 1874.

Mantegazza (Paolo). Del globulimetro nuove strumento per determinare rapidamente la quantità dei globetti rossi del sangue Milano, 1865.

Marchand. Cité par Jaccoud. Dictionnaire de médecine.

Mauriac. Cité par Dechambre. Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales.

Milne-Edwards. Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée. Tome I.

Mosso. Ueber den Kreislauf des Blutes in menschlichen Gehirn. Leipzig, 1881.

Picard (H.). La Vallée de Davos. In Progrès médical. Mai 1882.

Poisseuille. Recherches sur les causes du mouvement du sang dans les vaisseaux capillaires. 1835.

Prévost et Dumas. Mémoire sur les phénom. qui accompag. la contract. de la fibre muscul. (Journ. de Physiologie de Magendie, 1823.)

Preyer. Quantitative Bestimmung des Farbstoffs im Blute durch das Spectrum. In Liebig's Annalen, 1866.

Quincke et Pfeiffer. In Archiv. für Anatom. 1871.

Rajewski. Zur Frage über die quantitative Bestimmung des Hämoglobins. In Pflüger's Archiv. 1875.

Regnard. De la Congestion cérébrale. Thèse de Strasbourg. 1868.

Rommelaere (W.). De l'ateleetasie pulmonaire. In Annales de l'Université de Bruxelles. 1881.
— De l'Aeeélération eardiaque extrême. In Annales de l'Université de Bruxelles. 1883.
Salathé. Reeherehes sur les mouvements du cerveau. Thèse de Paris. 1877.
Samson (E.-A.). Chloroform, its aetion and administration. London, 1865.
Spehl (E.). Trois expérienees sur la eireulation pulmonaire. In Journal de Médecine, 1880.
Torreille. Considérations sur les effets physiologiques de l'emploi médical de l'air eomprimé. Thèse de Montpellier, 1876.
Valentin. Versuehe über die im den thierisehen Körper enthaltene Blutmenge. In. Repert. f. an. u. P. 1838.
— Cité par Jaceoud. Diet. de médeeine.
Vanner. Comptes rendus. Aeadémie des seienees, 1849.
Vierordt. Mitth. zweier neuen Methoden der quantitat mikrosk. und ehem. Analyse der Blùtkörperchen. 1852.
— Notiz über die Zählung der Blutkörperehen. In Heule's und Pfeuffer's Zeitsehr., 1864.
Vulpian. Sur la durée de la persistanee des propriétés des museles, des nerfs, etc., après l'interrupt. du eours du sang dans ees organes. (Gaz. hebd., 1861.)
Weber (Ed.). Cité par Dechambre. Diet. eneyclop. des se. médicales.
Weber (H.). In transaet. of the intern. med. eongres. London, 1881.
Weber. Cité par Jaeeoud. Dietionnaire de médecine.
Weir Mitchell. Cité par Dechambre. Dictionnaire encyclop. des scienees médicales.
Welcker. Blutkörperehen Zählung und farbenprüfende Methode. In Prag. Vierteljahr. 1854.
Williams (C.-T.). The Treatment of Phtisis by Residenee at High Altitudes.
Wilson Fox. In Transact. of the internat. medieal eongress. London, 1881.

INTRODUCTION

Il y a longtemps que l'on a cherché à apprécier la valeur de la masse totale du sang chez l'homme et chez quelques animaux. Des observations nombreuses ont été dirigées dans ce sens par Welcker, Valentin, Weber et d'autres, et, si la question n'est pas encore définitivement résolue, on peut affirmer cependant que les faits acquis ne sont pas éloignés de la réalité; les expériences que nous avons répétées à plusieurs reprises nous en ont fourni la ferme conviction.

Mais, chose remarquable, personne jusqu'ici n'a songé, semble-t-il, à se rendre compte de la façon dont se fait la *répartition* du sang dans l'économie. En d'autres termes, si l'on a désiré connaître combien de sang suffit à alimenter l'être en général, on n'a jamais tenté de préciser quelle est la part de sang nécessaire à *chaque organe* en particulier,

pour lui permettre de remplir les fonctions spéciales qui lui incombent, dans l'ensemble des phénomènes physiologiques de la vie.

Il nous a paru intéressant d'essayer de résoudre, au moins en partie, ce nouveau problème, et d'indiquer en passant quelques-unes des applications pratiques que l'on peut en déduire. On sait avec certitude que le sang ne se distribue pas également dans tout l'organisme, puisque certains tissus, le tissu cartilagineux, par exemple, ne renferment pas de vaisseaux sanguins, tandis que d'autres, comme le tissu hépatique ou le tissu pulmonaire, possèdent au contraire un réseau vasculaire très abondant. Mais ce ne sont là que des différences assez vagues en plus ou en moins, sans aucune précision, et qui n'ont d'autre mérite que celui de laisser entrevoir l'énoncé même du problème.

Rechercher les quantités de SANG CIRCULANT *qui baignent quelques-uns des principaux organes de l'économie* A L'ÉTAT VIVANT; *établir ensuite expérimentalement si ces quantités sont invariables, ou si elles ne sont pas plutôt dans un rapport intime avec les fonctions mêmes de ces organes et, dans cette dernière occurrence, préciser le mieux possible* QUAND *et* COMMENT *elles varient sans sortir du domaine physiologique; laisser entrevoir enfin quelques conséquences pratiques qui résultent de ces recherches :* tel est le but du

travail que nous avons l'honneur de présenter à la Faculté de Médecine de Bruxelles.

Mais avant d'aborder ces questions, il était indispensable de faire choix d'un procédé qui nous permît de réaliser les expériences qu'elles réclamaient ; et, à notre avis, ce n'était pas le côté le moins important de notre sujet. Aussi nous a-t-il semblé nécessaire d'exposer, au préalable, dans tous ses détails, la *méthode* que nous avons suivie au cours de nos recherches, tant pour déterminer exactement la richesse d'un mélange sanguin que pour fixer le sang contenu dans un organe à un moment donné.

Nous avons ainsi été amené à diviser cette étude en deux parties : dans la première nous nous occupons spécialement de la description de notre procédé; dans la seconde, nous faisons connaître les résultats de nos investigations sur les *Poumons*, l'*Encéphale* et le *Système musculaire* chez le lapin.

Avant de terminer cette introduction, qu'il nous soit permis d'offrir le témoignage de notre plus vive reconnaissance à M. le Professeur Héger, qui a bien voulu nous aider de ses conseils dans l'accomplissement de la tâche difficile que nous avions entreprise.

Bruxelles, le 1er septembre 1883.

Dr Spehl.

PREMIÈRE PARTIE

—

EXPOSÉ DE LA MÉTHODE

Pour peu que l'on réfléchisse au sujet qui nous occupe, on croit s'apercevoir bien vite qu'il y a de nombreux obstacles à déterminer la quantité de sang circulant dans un organe, à un moment donné ; et, en réalité, les recherches auxquelles nous nous sommes livré n'ont pas démenti ces prévisions. Nous serions même tenté de soupçonner que, si le problème n'a pas reçu plus tôt une solution, malgré le véritable intérêt qu'il présente, c'est par la difficulté de trouver le moyen de le résoudre.

Il ne sera donc pas inutile de décrire la méthode à laquelle nous nous sommes arrêté ; elle constitue d'ailleurs la base de tous les faits que nous avons à énumérer, et de la précision et de l'exactitude de notre procédé dépendra la valeur des chiffres que nous indiquerons dans la suite.

Par ces différents motifs, nous nous sommes cru dans l'obligation, non seulement de traiter tout d'abord ce côté essentiellement théorique de notre sujet, mais encore, d'en faire une portion importante du présent travail.

Nous ajouterons que, pour rendre plus claire et plus facile notre description, nous avons subdivisé cette première partie en un certain nombre de chapitres distincts, correspondant à autant de questions indépendantes pour ainsi dire les unes des autres, et devant être, par cela même, exposées séparément.

CHAPITRE PREMIER

DANS QUELLES CONDITIONS FAUT-IL EXAMINER L'ORGANE SOUMIS A L'EXPÉRIENCE ?

Si l'on veut se rendre compte de la quantité de sang qui baigne un organe, plusieurs moyens peuvent être mis en pratique. Il est possible cependant de les classer tous en trois catégories :

1° Ceux par lesquels on opère sur l'animal mort ;

2° Ceux où l'on emploie les circulations artificielles ;

3° Ceux qui s'adressent à l'animal vivant.

Examinons ces trois méthodes selon l'ordre dans lequel nous venons de les énumérer. Chemin faisant, nous reconnaîtrons les défauts ou les avantages de chacune d'elles, et ainsi nous n'éprouverons aucune difficulté à choisir celle qui répondra le plus complètement à notre but.

§ 1er. — Expériences sur le cadavre

Le procédé le plus simple, et le premier qui se présente à

l'esprit, consiste à sacrifier un animal, à extirper l'organe soumis à l'expérience, et à extraire tout le sang que celui-ci renferme, soit par hémorragie seulement, soit par hémorragie suivie d'injections intravasculaires, soit encore par le procédé de Welcker sur lequel nous reviendrons plus tard, etc.

Nous n'avons point l'intention d'examiner ces divers moyens quant aux détails de l'opération même ; nous voulons rechercher, au préalable, s'il est admissible de procéder à ces expériences *sur le cadavre.* Pour éclaircir ce premier point, parcourons rapidement les principaux phénomènes qui se passent du côté de la circulation, dans le corps d'un animal au moment de la mort.

Après la dernière systole ventriculaire, les artères, en vertu de leur élasticité, reviennent sur elles-mêmes et chassent le sang vers les extrémités de l'arbre circulatoire : au bout de quelque temps le système artériel tout entier est vide de sang.

Les veines, au contraire, ayant perdu totalement la propriété de se contracter, deviennent beaucoup moins résistantes, plus dilatables que les artères ; elles se laissent plus facilement distendre, reçoivent tout le liquide refoulé par ces vaisseaux, et sont bientôt gorgées d'un sang noir, généralement épais et diffluent. En résumé, on peut énoncer cette succession de faits en disant que : *les artères se vident dans les veines.* Nous ferons remarquer aussi que la présence de nombreux caillots dans le système veineux modifie complètement la composition chimique et morphologique du sang.

Enfin, nous ajouterons que les liquides tendant toujours à gagner les parties les plus déclives, les lois de la pesanteur interviennent également, pour une large part, dans la direction suivie par le courant sanguin dans les gros vaisseaux, sur le cadavre.

De tous ces faits, que nous avons eu l'occasion de vérifier chaque jour au service des autopsies, auquel nous avons été attaché, il résulte, en définitive, que la répartition du sang après la mort est très inégale; et que, loin de se ressentir de la distribution physiologique du liquide nourricier dans l'organisme vivant, elle dépend en réalité des conditions physiques et mécaniques dans lesquelles se trouve placé l'appareil circulatoire, immédiatement après les dernières manifestations de la vie. Il est donc évident que la quantité de sang trouvée dans les organes sur le cadavre n'est nullement dans un rapport constant et absolu avec celle qui les traverse à l'état vivant ; et, dans ces circonstances, nous pouvons affirmer comme conclusion, que ce premier procédé n'est, en aucun cas, applicable aux recherches que nous nous proposons de faire.

§ 2. — Procédé des circulations artificielles

Avant d'en arriver à notre procédé qui s'adresse à l'animal vivant, il n'est pas inutile de dire quelques mots d'un moyen intermédiaire qui semblerait, à première vue, pouvoir être très avantageusement appliqué dans les conditions où nous sommes placé : nous voulons parler de la *circulation arti-*

ficielle dans les organes isolés, décrite il y a quelques années à peine par M. le docteur Héger, dans son travail sur les effets des substances toxiques (1).

On pourrait effectivement saigner un animal par artériotomie, de manière à en obtenir la plus grande quantité possible de sang, et défibriner celui-ci par le battage; extirper ensuite avec précaution un organe quelconque comme le foie, les poumons, etc., et mettre ses vaisseaux afférents en communication avec un flacon renfermant le sang préparé comme il vient d'être dit. Alors le sang, pénétrant par ces vaisseaux, traverserait l'organe, et s'écoulerait par les vaisseaux efférents, pourvu que l'opération eût marché assez vite. Au bout de quelques instants, la circulation étant complètement établie, il suffirait de jeter simultanément deux ligatures, l'une sur les artères, l'autre sur les veines, et l'on aurait emprisonné dans les mailles de l'organe tout le sang que celui-ci renfermait au moment de l'expérience.

L'emploi des circulations artificielles, qui a fourni des résultats si précis et si remarquables dans l'étude spéciale que certains auteurs en ont faite, présenterait cependant à cette nouvelle application de nombreux inconvénients.

Établir et conserver une pression sensiblement égale à celle du sang circulant dans l'organisme vivant, afin que, toutes choses égales d'ailleurs, la dilatation vasculaire, et

(1) Héger P. *Expériences sur la circulation du sang dans les organes isolés.* Bruxelles, 1873. (Thèse d'agrégation présentée à la Faculté de Médecine de Bruxelles.)

partant la quantité de sang contenue dans les vaisseaux, fût semblable à celle répandue à l'état physiologique ; reproduire les fluctuations inhérentes aux mouvements cardiaques ; soustraire l'organe aux influences physiques et chimiques de l'atmosphère ambiante ; éviter les erreurs pouvant résulter de la différence de température ; empêcher enfin la formation probable de caillots dans les petits vaisseaux : ce sont là autant d'obstacles sérieux contre lesquels on vient échouer fatalement, et qui rendent pour ainsi dire impossible, l'application de cette méthode à nos recherches personnelles.

Et d'ailleurs, en supposant que ces difficultés fussent sans aucune importance, nous ne pourrions avoir recours aux circulations dans les organes isolés, en vertu même des conclusions proposées par l'auteur que nous venons de citer.

Il ressort, en effet, des nombreuses expériences faites par M. Héger :

Que dans un organe encore vivant, mais séparé de toute communication avec l'appareil cardiaque, la circulation artificielle subit, d'une façon générale, des oscillations très appréciables, dépendant exclusivement de causes qui résident dans l'organe lui-même, et qu'elle finit après un certain nombre de fluctuations par s'arrêter complètement ;

Que si l'organe est mort, les phénomènes ne sont pas tout à fait identiques ; car le ralentissement, au lieu d'être inégal, se poursuit alors d'une manière progressive et régulière jusqu'au moment où toute circulation cesse.

On voit donc que, quelle que soit la façon dont on opère, ces expériences ont pour effet certain de *modifier la quantité réelle, absolue de sang* qui circule dans les organes : cela suffit à démontrer que la méthode des circulations artificielles, si précieuse dans d'autres circonstances, n'est cependant pas acceptable dans notre travail, dont le but est précisément de déterminer la quantité exacte de sang, circulant dans un organe vivant, aux différents moments de son évolution physiologique.

—

Nous avons tenu à examiner les deux systèmes qui précèdent en étudiant les causes d'erreurs qu'ils peuvent présenter, et nous avons conclu de notre examen qu'ils ne sont applicables ni l'un ni l'autre à nos recherches. Mais il est un autre motif, plus important peut-être que ceux que nous avons énoncés jusqu'ici et qui rend toute expérience impossible en dehors de l'être vivant.

Notre travail n'aurait aucune valeur, si nous nous contentions de déterminer la quantité absolue de sang baignant un organe placé dans des conditions spéciales et connues. Ce qui fait en réalité l'objet principal de nos recherches, c'est de découvrir les *rapports* qui existent entre les fonctions des organes et la quantité de sang qu'elles nécessitent. Or, comment se rendre compte de ces particularités en dehors de la vie? Comment déceler la relation intime qui existe entre le liquide nourricier d'une part et les manifestations vitales

qu'il provoque ou réalise dans les organes d'autre part, si l'on ne procède pas par comparaison directe sur l'organisme en activité?

Tout autre moyen serait évidemment inacceptable. Et d'ailleurs, si l'on veut étudier une fonction aussi complexe, aussi délicate que la circulation, on ne peut faire abstraction d'aucun des nombreux facteurs qui interviennent dans l'accomplissement du phénomène, sous peine d'aboutir à des résultats absolument erronés et inexacts. Nous sommes ainsi amené à décrire le troisième procédé, qui seul, à notre avis, peut convenir à l'étude que nous poursuivons.

§ 3. — Expériences sur l'animal vivant

Après avoir énuméré les motifs qui nous ont fait rejeter les deux premières méthodes, il serait superflu sans doute de rappeler en détail les avantages que nous attendons de l'emploi de la vivisection. Nous pouvons cependant les résumer en ces deux propositions :

1° Elle laisse les organes dans leur situation et leurs rapports normaux;

2° Elle permet de les surprendre à différents moments de leur activité fonctionnelle.

Ces deux conditions, réunies, garantiraient assurément une étude complète et rationnelle de notre sujet ; et, si nous parvenions à les réaliser dans la pratique, aucun des reproches formulés antérieurement ne pourrait désormais nous être adressé.

Nous croyons avoir trouvé le moyen d'atteindre ce but, et c'est le principe suivant qui constitue le point de départ et la base de notre procédé :

PRINCIPE. — *Tout organe possède un ou plusieurs vaisseaux afférents destinés à lui fournir, d'une façon générale, le sang nécessaire à son fonctionnement complet et régulier. Il possède aussi un ou plusieurs vaisseaux efférents, distincts des premiers, et par lesquels s'écoule le sang qui a traversé l'organe.*

Dès lors, si l'on arrête le courant sanguin par deux ligatures, placées sur ces deux ordres de vaisseaux et fermées simultanément, il suffira d'extirper l'organe pour pouvoir évaluer très exactement le sang qu'il renfermait au moment de l'expérience.

On le voit, ce procédé répond à toutes les exigences, puisqu'il permet de choisir le moment précis où l'on désire étudier l'organe et que, de plus, il ne modifie pas les rapports anatomiques ou physiologiques de ce dernier, au point de compromettre les résultats de l'expérience.

Ce n'est pas ici le lieu de décrire l'opération elle-même. Nous en indiquerons les généralités au chapitre III, réservé spécialement au développement de la méthode ; et, quant aux particularités et aux détails relatifs au manuel opératoire de chaque organe en particulier, nous les fournirons à mesure que nous aborderons son étude dans la IIe partie du présent travail. Pour le moment, nous nous contenterons de faire

remarquer, qu'avant de prendre aucune observation, nous nous sommes toujours soigneusement assuré que toutes les fonctions de l'animal en expérience s'exécutaient librement et normalement.

L'organe muni de ses deux ligatures étant extirpé, il nous reste à évaluer exactement le sang qu'il contient. L'examen de cette question très importante, sur laquelle les auteurs ne sont pas précisément d'accord, fera l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE II

DES DIFFÉRENTS MOYENS D'ÉVALUER LE SANG CONTENU DANS UN ORGANE EXTIRPÉ

Nous sommes en présence d'un grand nombre de méthodes, reposant sur des principes très variés, et présentant chacune, à vrai dire, ses avantages et ses inconvénients. Passons-les rapidement en revue, nous indiquerons ainsi sans difficulté les motifs qui nous les ont fait ou rejeter ou admettre. Toutefois nous devons, dès à présent, faire remarquer cette particularité que nous appliquons en général à l'évaluation du sang d'un seul organe, des procédés qui ont été employés par leurs auteurs à la recherche de la masse totale. Ce fait n'étonnera pas le lecteur, s'il veut bien se rappeler que personne avant nous ne s'est occupé de notre sujet.

§ 1er. — Évaluation directe

A. — PROCÉDÉ DE HERBST (1), VANNER (2) ET JONES (3). — Ces auteurs ont cru pouvoir déterminer la masse totale du sang en sacrifiant un animal par artériotomie, et en laissant le liquide sanguin s'écouler librement jusqu'à cessation complète et spontanée de l'hémorragie. En mesurant avec soin tout le sang recueilli, ils obtenaient une quantité qu'ils considéraient comme représentant très approximativement la valeur cherchée.

S'il n'y avait pas de cause d'erreur à ce procédé, nous pourrions évidemment l'appliquer à la détermination du sang des organes : il suffirait pour cela de couper les deux ligatures, disposées comme il a été décrit plus haut, et de recevoir le liquide qui s'écoulerait dans un récipient parfaitement gradué. Au bout de quelques minutes le résultat de l'opération serait connu.

Mais cette méthode est-elle à l'abri de tout reproche? Nous savons qu'il reste toujours du sang en quantité plus ou moins abondante dans les vaisseaux et dans les tissus. Or, d'après Brown-Séquard (4), c'est une cause flagrante d'inexactitude, attendu qu'il n'y a pas de rapport constant entre la quantité de sang qui s'écoule et celle qui reste.

(1) HERBST. Comment. hist. crit. et anat. phys. de sanguinis quantitate, 1822, cité par MILNE EDWARDS, Leçons sur la phys. et l'anat. comparées, t. I, p. 309.

(2) VANNER. Comptes-rendus, Acad. sciences, 1849, p. 649.

(3) JONES. Smithsonian contributions to knowledje, 1856 (M. E. loc. cit, p. 528).

(4) BROWN-SÉQUARD. Journal de Physiologie, 1874.

Il est donc impossible de prendre aucune conclusion, même après une série de plusieurs expériences; car, on ne saurait suffisamment coordonner leurs résultats, fatalement dissemblables, pour établir une règle, un principe général.

Pour ces motifs, le procédé par évaluation directe ne peut nous satisfaire, et nous nous voyons forcé de recourir à d'autres moyens plus précis et plus fixes.

§ 2. — Méthodes par l'analyse chimique

A. — PROCÉDÉ DE LEHMANN ET ED. WEBER. — Lehmann (1) et Weber (2) ont imaginé de déterminer la masse totale du sang, en complétant pour ainsi dire le procédé que nous venons de décrire. En effet, après avoir pesé un animal, ils le tuent par hémorragie, mesurent exactement tout le sang recueilli, et constatent, par l'analyse chimique, la quantité de principes fixes pour 100 contenus dans ce sang. Ce chiffre leur servira de base pour les opérations ultérieures.

Ils injectent alors de l'eau distillée dans les vaisseaux jusqu'à ce qu'elle revienne tout à fait incolore; ils calculent la quantité de principes fixes que celle-ci ramène, et ils en déduisent le poids du sang resté dans les tissus. Ajoutant enfin cette deuxième quantité au poids du sang qui s'était écoulé par hémorragie, ils connaissent la masse totale du sang de l'animal.

Ce procédé présente également, d'après Brown-Séquard (3),

(1) LEHMANN. Lehrbüch der physiologischen Chemie, 2e édit. Leipzig, 1853.

(2) WEBER (Ed.), cité dans DECHAMBRE. Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales. T. VI, p. 452.

(3) BROWN-SÉQUARD. Loc. cit.

de graves causes d'erreur. Ainsi il affirme que le lavage n'entraîne pas tout le sang contenu dans les petits vaisseaux ; il déclare avoir disséqué des animaux auxquels on avait fait subir cette opération, et avoir trouvé les réseaux capillaires renfermant un liquide assez fortement coloré.

“ Il semble, dit-il, que les liquides injectés passent par les „ voies les plus faciles, et ne pénètrent que très mal dans „ les parties les plus retirées, de manière qu'ils sortent par- „ fois clairs, alors qu'il existe encore du sang dans les „ réseaux les plus ténus. ”

D'autre part, l'eau distillée, en parcourant les capillaires, provoque des phénomènes d'osmose parfaitement appréciables, et elle entraîne avec elle des matériaux solides provenant des tissus, et qui sont à tort portés au compte du sang.

Enfin, si l'on appliquait ce procédé à nos expériences, les erreurs seraient d'autant plus sensibles que l'on opérerait sur de plus petites quantités, et que, partant, l'analyse chimique serait plus délicate et plus difficile.

B. — PROCÉDÉ DE VALENTIN. — Il est un autre procédé, basé également sur l'analyse chimique, et qui a été proposé par Valentin (1). Ce dernier faisait une saignée à l'animal et déterminait la quantité de matières solides contenues dans l'échantillon de sang recueilli. Puis il injectait dans les veines de l'animal une certaine quantité d'eau salée, et peu

(1) Valentin (G.). Versuche über die in dem thierischen Körper enthaltene Blutmenge. In Repertor. f. Anat. u. Phys., Bd. III, p. 281, 1838.

de temps après il renouvelait la saignée. Il dosait de nouveau la quantité de matières solides renfermées dans ce second spécimen, et comparant les proportions trouvées dans les deux opérations, il en déduisait très aisément la masse totale du sang.

Connaissant ce dernier chiffre, il serait facile d'appliquer le procédé de Valentin à nos expériences ; il suffirait pour cela de fixer la proportion de sel trouvée dans un volume de sang connu, de rechercher ensuite combien de sel on découvrirait dans l'organe extirpé, et du rapport de ces deux nombres, conclure à la richesse en sang.

Mais ce moyen rencontre des objections qui le rendent inacceptable. En effet, le sel doit-il se répartir également dans tous les tissus et tous les organes de l'économie ? Peut-on affirmer, en d'autres termes, qu'un corps étranger même dissous, introduit dans le torrent circulatoire, doive se mélanger uniformément à toutes les parties quelconques du liquide sanguin ? Pour notre part, nous ne le pensons pas, et nous sommes convaincu que les quantités de sel trouvées varieraient sensiblement selon les organes en expérience, *mais non dans un rapport proportionnel à la répartition sanguine.*

Il est, d'ailleurs, une autre objection, plus puissante peut-être, et qui suffit à elle seule pour conclure au rejet de cette méthode : c'est le trouble provoqué dans les phénomènes osmotiques par l'arrivée de la solution saline. Il ne saurait y avoir, évidemment, homogénéité du mélange entre le plasma et le liquide injecté, au moment de l'opération ; de là pertur-

bation immédiate et inévitable dans la densité du liquide sanguin, et changement très sensible dans sa composition. Du reste, ce phénomène, dont la cause est purement physique, sera d'autant plus marqué que la composition du sang s'éloignera davantage de sa valeur normale.

C. — PROCÉDÉ DE BLAKE. — Blake (1) a repris en 1849 le procédé de Valentin et a proposé d'injecter dans les vaisseaux des solutions de sulfate d'alumine. Le principe de l'opération n'étant pas modifié, les causes d'erreur sont absolument les mêmes, et la méthode peut être, quant à sa valeur, entièrement assimilée à la précédente. Il nous paraît donc inutile de répéter les détails que nous venons de donner.

D. — PROCÉDÉ DE W. BROZEIT. — Brozeit (2), qui s'est également servi de l'analyse chimique dans ses expériences, a cependant perfectionné les deux méthodes de Valentin et de Blake, en ce sens qu'il n'introduit pas de corps étranger dans le sang. Cet auteur, voulant éviter les troubles de la circulation provenant de l'injection d'un sel quelconque dans les vaisseaux, a établi ses calculs sur le dosage de l'*hématine*. Ce procédé est donc beaucoup plus exact que les précédents; mais il présente cet inconvénient d'exiger une analyse chimique très longue et très délicate, et

(1) Blake. Philadelphia med. examiner 1849, cité par Milne-Edwards, loc. cit.
(2) Brozeit. Bestimmung der absoluten Blutmenge im Thierkörper. In archiv. f. die ges. Physiol., Bd. III, p. 353, 1870.

par conséquent, très sujette aux erreurs. Car n'oublions pas qu'il ne s'agit nullement ici d'une analyse qualitative, mais bien d'une analyse *quantitative*, ce qui complique singulièrement l'opération.

Or, dans la question qui nous occupe, il faut avant tout une méthode pratique et rapide en même temps que précise, car avant de prendre aucune conclusion, il est nécessaire de renouveler un grand nombre de fois les mêmes expériences. Dans ces circonstances, il est bon de ne pas donner la préférence à un moyen qui expose l'observateur à commettre des fautes graves, et à attribuer aux lois physiologiques des faits qui ne sont que le résultat d'erreurs matérielles, trouvant leur cause dans le manuel opératoire lui-même. Inutile, croyons-nous, d'insister plus longuement sur ce procédé et sur les objections qui s'appliquent en même temps à toutes les méthodes qui ont recours à l'*analyse chimique* pour déterminer la quantité de sang se trouvant dans un organe.

§ 3. — Principe de Vierordt, ou numération des globules

Vierordt [1], le premier, a préconisé la numération des globules rouges, dans l'évaluation d'une masse sanguine.

(1) Vierordt. Mitth. zweier neuen Methoden der quantitativen mikroskop. und chemisch. Analyse der Blütkörperchen und Blutflüssigkeit. (Extr. des Archiv. f. physiol. Heilk. Bd. XI, H. 1. 1852.)

Vierordt. Notiz über die Zählüng der Blütkörperchen. In Henle's und Pfeuffer's Zeitschr., 3. Reihe, Bd. XXI, p. 95. 1864.

Son principe consiste, en définitive, à admettre que chez le même animal, une quantité de sang peut être parfaitement représentée par le nombre de globules qu'elle renferme. C'est sur cette idée qu'il a basé son mode d'appréciation de la masse totale du sang.

Pour y arriver, il pratique une saignée à un animal et mesure la richesse en globules du sang extrait. Puis il attend un temps suffisant pour que le volume du sang revienne à sa valeur primitive ; il fait une seconde saignée et une nouvelle numération ; de la différence constatée entre les deux nombres il déduit la masse totale du sang.

Si nous citons cette opération, ce n'est pas que nous puissions directement en tirer parti ; mais c'est qu'elle a été le point de départ de plusieurs autres procédés qui seraient très facilement applicables à nos recherches. Ce sont ces derniers que nous voulons discuter, sans cependant toucher la question de savoir si leur emploi est opportun dans l'évaluation de la masse totale du sang chez les animaux : cette considération est étrangère à notre sujet. Ce que nous désirons examiner, et c'est ce qui fera l'objet de ce paragraphe, c'est le *degré d'exactitude* qu'on peut attendre de leur application pratique en général. Ce sont donc surtout les différents modes de numération des globules que nous analyserons ici. Quant à la valeur même du principe de Vierordt énoncé ci-dessus, nous la vérifierons dans un paragraphe ultérieur (1).

(1) Voir § 6, page 52.

A. — Dès 1855, CRAMER [1] a proposé un procédé de numération des globules rouges du sang dans le but d'apprécier le volume de ce liquide. — Nous croyons inutile de le décrire ici, en présence des méthodes plus complètes et plus récentes que nous allons exposer maintenant.

B. — PROCÉDÉ DE MALASSEZ [2]. — Le principe du procédé de Malassez consiste simplement à étendre une petite quantité de sang, de manière à rendre la numération des globules plus facile et plus précise. L'opération elle-même se divise en deux temps : dans le premier temps on fait le mélange, dans le deuxième on compte les globules.

Pour diluer le sang, sans altérer les éléments morphologiques, il ne suffit pas évidemment d'y ajouter de l'eau. La différence de densité entre ces deux liquides est si grande que les globules (qui ont une densité de 1100 environ) se précipiteraient bientôt vers les couches inférieures du mélange. Il faut employer une solution dont les propriétés *physiques* se rapprochent le plus possible de celles du sérum du sang. Dans ce but, on prépare un *sérum artificiel* dont la formule est due à Potain et Malassez et qui est composé de la manière suivante : 1 volume d'une solution de gomme arabique ayant au pèse-urine une densité de 1020, et

(1) CRAMER (A). Bijdrage tot de quantitatieve microscop. analyse van het bloed. In *Nederl. Lancet*, febr. 1855, p. 453.

(2) MALASSEZ. Nouvelle méthode de numération des globules rouges et des globules blancs du sang. In Journal de Physiologie norm. et pathologique, 1874.

3 volumes d'une solution à parties égales de sulfate de soude et de chlorure de sodium ayant également une densité de 1020 (1). La répartition des globules ne s'effectuant pas toujours bien, on ajoute généralement du carbonate de soude : ils deviennent alors sphériques et la distribution en est beaucoup plus régulière.

Puis on opère un mélange parfaitement titré et homogène de sang et de sérum artificiel au moyen d'un appareil spécial : le *Mélangeur Potain.* " C'est un petit tube capil-
„ laire en verre, présentant sur son trajet, au voisinage de
„ l'une des extrémités, une dilatation ampullaire : c'est une
„ véritable pipette. La courte portion du tube a une lumière
„ plus large ; on peut y adapter un tube en caoutchouc. La
„ portion dilatée présente en son intérieur *une petite boule*
„ *en verre.* La longue portion a un canal plus étroit et son
„ extrémité libre est effilée en pointe. L'appareil est construit
„ de telle façon que la capacité de cette longue portion se
„ trouve être très exactement la $^1/_{100^e}$ partie de la capacité
„ de la partie renflée. Un trait tracé de chaque côté du ren-

(1) Voici les quantités qui nous ont paru convenir le plus approximativement à la préparation du sérum artificiel.

Pour faire 4 litres de sérum : 1° Solution de gomme (1020).

Eau,	1000 grammes.
Gomme arabique,	80 grammes.

2° Solution de sulfate de soude (1020).

Eau,	1500 grammes.
Sulfate de soude,	80 grammes.

3° Solution de chlorure de sodium (1020).

Eau,	1500 grammes.
Chlorure de sodium,	45 grammes.

„ fiement indique d'une façon précise le niveau auquel ees „ proportions se trouvent être exactes. ”

Cela posé, on plonge l'extrémité pointue du tube dans le sang que l'on veut examiner, et l'on aspire avec précaution par le tuyau de caoutchouc jusqu'à ce que le liquide arrive au niveau du trait placé immédiatement au-dessous de l'ampoule. On essuie la pointe, et on la plonge dans le “ sérum artificiel „ préparé à l'avance, puis on continue d'aspirer jusqu'à ce que le liquide vienne remplir l'ampoule et affleurer au trait qui se trouve immédiatement au-dessus.

A ee moment, on a dans l'ampoule un mélange de 1 partie de sang et de 100 parties de sérum artificiel. On imprime alors à l'appareil un mouvement rapide de va-et-vient, et la petite boule de verre circulant à travers la masse liquide, la brasse en tous sens de manière à la rendre homogène et uniforme.

Il reste à eompter les globules du mélange. Pour cela on se sert d'un autre appareil appelé le *capillaire artificiel.* Il se compose d'une bandelette de verre fixée sur une lame porte-objet, et creusée dans sa longueur d'un canal parfaitement calibré et cubé. L'une des extrémités du capillaire artifieiel est libre, l'autre relevée est munie d'un tube de caoutehoue. On dépose une gouttelette du mélange de sang et de sérum artifieiel eontre l'extrémité libre du tube, et le liquide pénètre immédiatement par eapillarité. Lorsque le canal est rempli du mélange, on enlève par le papier buvard ce qui reste sur la lame porte-objet, on porte le tout sous l'objeetif du microseope, et l'on compte les globules au moyen d'un micromètre oculaire quadrillé dont la position a été déterminée à l'avance.

On obtient alors un nombre de globules qu'il faudra multiplier d'abord par 100 (chiffre correspondant au titre du mélange), puis par le volume de la colonne liquide examinée au microscope.

On peut reprocher à ce procédé :

1° Que malgré les soins donnés au *mélangeur Potain* le mélange n'est pas absolument homogène ;

2° Que les expériences faites sur d'aussi minimes quantités que l'exige l'appareil de Potain sont aisément entachées d'erreurs ;

3° Que le mélange, s'il est parfait au début, ne se maintient pas pendant toute la durée de l'expérience ;

4° Que des globules en nombre plus ou moins grand sont détruits ou dissous ;

5° Enfin que dans l'introduction par capillarité du mélange dans le capillaire artificiel, les globules pénètrent moins facilement que la partie liquide de la masse. Cette dernière cause d'erreur a pour effet, d'après Hayem et Nachet, de donner des évaluations inférieures à la réalité.

C. — PROCÉDÉ DE HAYEM ET NACHET (1). — Ces deux auteurs ont, à vrai dire, simplifié la méthode que nous venons d'exposer. Les modifications qu'ils y ont apportées visent surtout la suppression du *mélangeur Potain*, et le remplacement du *capillaire artificiel* par une cellule de

(1) HAYEM. De la numération des globules du sang. In Gazette hebdomadaire, 1875, p. 291.

verre circulaire, et à faces supérieure et inférieure planes et parallèles. Ils considèrent, avec raison nous semble t-il, que le mélange fait au moyen du *mélangeur Potain* laisse beaucoup à désirer, et que, d'autre part, la numération des globules au milieu d'une eolonne liquidc renfermée dans un tube capillaire est trop susceptible d'inexactitudes.

Ils prennent à l'aide d'une grosse pipette 500 millimètres cubcs (soit un demi-centimètre eube) de sérum artificiel qu'ils déposent dans un petit récipient de verre ou de porcelaine. A l'aide d'une autre pipette de dimensions beaucoup moindres, à canal capillaire gradué en millimètres et terminée par un tube de caoutchouc aspirateur, ils puisent très exactement deux millimètres cubes de sang ou d'une solution sanguine, qu'ils ajoutent à ces 500 mm. c. de sérum artificiel; et, au moyen d'une petite palette, ils agitent la masse liquide de manière à obtenir un mélange parfait.

Ils placent alors une goutte de la masse au milieu de la cellule d'un porte objet spécial, ils la recouvrent immédiatement en laissant tomber d'aplomb sur elle une lamelle de verre, et ils comptent les globules au moyen d'un micromètre objectif.

" La préparation est réussie : 1° Lorsque la goutte de sang dilué, transformée ainsi en une nappe de liquide à surfaces parallèles, est entourée d'un anneau d'air complet, et 2° quand il n'existe aucune parcelle importante de poussière entre les deux plaques de verre dans l'espace humecté de salive " (c'est-à-dire dans la partie *en contact* des deux lamelles).

On multiplie alors le nombre des globules obtenu par un

chiffre connu à l'avance (31,000 si l'on a appliqué les proportions indiquées ci-dessus), et l'on a pour produit final le nombre d'hématies renfermées dans un millimètre cube de la liqueur primitive (sang ou solution de lavage).

On peut opposer à cette méthode à peu près les mêmes griefs qu'à la précédente, en ce sens que l'opération se fait sur de petites quantités, et que l'on continue à se servir dans le cours de l'opération d'un tube capillaire pour recueillir le mélange à examiner.

—

Aux différentes objections que nous venons de signaler, concernant les détails de chacune de ces méthodes en particulier, nous voudrions en ajouter une qui s'adresse d'une façon générale à tous les procédés basés sur la numération des globules : c'est que, dans l'examen d'un même liquide, ils sont sans exception susceptibles d'écarts énormes dans leurs résultats.

La raison en est facile à apprécier. On opère sur de très minimes quantités dans lesquelles, après avoir compté plusieurs séries de globules, on *prend une moyenne* qui servira de base à tous les calculs subséquents. Or, cette moyenne, représentant une infime parcelle de sang, sera multipliée par des nombres très élevés, variant entre vingt mille et trente mille. Il est aisé de comprendre qu'une erreur quelconque dans la numération des globules, se trouvant être multipliée trente mille fois, deviendra très sensible ; et n'oublions pas

que cette erreur ne portera alors que sur *un millimètre cube* de sang. Si l'on veut bien remarquer que, dans la suite de ce travail, nous nous occuperons généralement de masses sanguines d'une dizaine de centimètres cubes, on s'apercevra que l'erreur supposée plus haut finira par être multipliée dans cette occurrence par 30,000 × 10,000, c'est-à-dire par *trois cent millions*, et dépassera tout à fait, à ce moment, la limite des erreurs permises. Ce sont ces divers motifs qui nous ont engagé à ne pas faire usage de la numération des globules dans nos recherches.

§ 4. — Principe colorimétrique

Il nous reste à examiner les méthodes basées sur le principe colorimétrique ; ce sont celles que nous considérons, avec Malassez (1) lui-même d'ailleurs, comme " *les plus exactes de toutes celles proposées jusqu'ici.* " Beaunis dit aussi que " *ces méthodes donnent les résultats les plus exacts* (2). " Elles consistent non plus à conserver intacts les globules de manière à pouvoir les compter, mais à dissoudre leur matière colorante, l'hémoglobine, et à déduire la richesse en sang de la solution, de l'intensité de sa coloration. Cela revient à admettre que, toutes choses égales d'ailleurs, une solution d'hémoglobine renfermera d'autant plus de sang qu'elle sera plus colorée, et comme conséquence, que chez le

(1) Malassez. De la numér. des glob. In Brown-Séquard.
(2) Beaunis. Nouv. élém. de physiologie, p. 100. Paris, 1876.

même individu deux liquides sanguins ayant une coloration identique posséderont la même quantité de sang.

Plusieurs méthodes sont issues de ce principe : la première fut proposée par Welcker.

A. — PROCÉDÉ DE WELCKER [1]. — Cet auteur commence par pratiquer une saignée et obtient une première quantité de sang que nous représenterons par *a*. Puis il tue l'animal et recueille séparément tout le sang qui s'écoule après sa mort. Il fait alors plusieurs injections d'eau dans l'appareil circulatoire jusqu'à ce que celle-ci revienne incolore; enfin il découpe l'animal en petits morceaux et lave ceux-ci à grande eau jusqu'à épuisement de la matière colorante. Il réunit les liquides résultant de ces trois dernières opérations, et finit par former ainsi une solution de lavage d'une coloration beaucoup moins rouge évidemment que le sang pur. Appelons cette solution *b*. Reprenant ensuite le sang *a*, dont le volume lui est connu, il y ajoute de l'eau jusqu'à ce que la coloration du mélange soit égale à celle de la solution *b*. Dès lors, il connaît la concentration des deux mélanges et il lui est facile de trouver la quantité de sang qu'ils renferment l'un et l'autre.

Cette méthode offre plusieurs causes d'inexactitude résultant non pas du principe lui-même, mais des détails du manuel opératoire. Nous les rencontrerons successivement dans la

(1) WELCKER. Blutkörperchen. Zählung und farbenprüfende Methode. In Prager Vierteljahresschr., Bd. IV, p. 11, 1854.

description que nous ferons de notre méthode (1), laquelle, disons-le, dès à présent, est basée sur le principe colorimétrique.

B. — PROCÉDÉ DE HEIDENHAIN (2). — Heidenhain, croyant qu'il devait y avoir une certaine différence entre le pouvoir colorant du sang veineux et celui du sang artériel, proposa de faire dans la première solution *a* un mélange des deux espèces de sang, de manière à obtenir une coloration mixte, plus exactement égale à celle de la totalité du corps. Pour le reste il opère absolument comme Welcker. Ses résultats sont venus entièrement confirmer ceux de ce dernier.

C. — PROCÉDÉ DE LESSER (3). — Lesser a apporté quelques modifications à la méthode colorimétrique telle qu'elle avait été primitivement présentée par Welcker. Cet auteur se sert de deux auges de verre, à parois parfaitement parallèles et distantes de un centimètre environ ; l'une d'elles renfermera une solution de sang qu'il appelle la solution normale, " *Normallösung,* " l'autre est destinée à recevoir le liquide à examiner. Voici d'ailleurs comment il décrit son manuel opératoire (4) :

" Pour l'examen à la lumière diffuse, on place les auges vis-à-vis d'une fenêtre, et appliquées contre un écran noir

(1) Voir chapitre VI.
(2) Heidenhain. Disquisitiones criticæ de sanguinis quantitate ; Halis, 1858.
(3) von Lesser. Ueber die Vertheilung der rothen Blutscheiben im Blutstrome. In Archiv. für. An. und Phys. de Dubois-Reymond, Leipzig, 1878, p. 41.
(4) Loc. cit., page 43.

reposant sur une table, perpendiculairement à celle-ci. A la partie inférieure de l'écran se trouve une plaque blanche, de préférence une lame de verre mat, que l'on peut glisser à volonté derrière les auges, de manière à leur former un fond blanc qui les éclaire plus ou moins complètement, selon la hauteur à laquelle on la placera.

„ L'observateur est assis devant l'appareil, le dos tourné à la fenêtre d'où vient le jour, et de telle façon que les solutions de sang se trouvent dans un plan horizontal passant par ses yeux. A droite on met l'auge renfermant la solution normale. Une plaque de verre recouvrant l'auge, la protège contre l'évaporation et l'introduction de corps étrangers dans sa masse. Dans l'autre auge située à gauche de l'observateur, sont apportées successivement les différentes solutions de sang, pour y être étendues jusqu'au degré de concentration de la solution normale. Pour cela, on se sert de la *burette à diluer* " *Verdünnungsbürette,*" que l'on remplit constamment d'eau jusqu'au point zéro.

„ Pendant que l'on verse l'eau de la main droite, on agite sans cesse le liquide de la main gauche au moyen d'un agitateur de verre, jusqu'à ce que le mélange étant uniforme, il n'y ait plus de différence entre les solutions renfermées dans les deux auges. Dans ce procédé il est recommandable de pousser le délaiement de la solution de sang jusqu'au-delà de la compensation ; on a ainsi un excellent terme de comparaison.

„ Connaissant la quantité d'eau ajoutée pour atteindre la solution normale et d'autre part connaissant la concentra-

tion de celle-ci, il est facile de déterminer la quantité de sang contenue dans la solution examinée. "

Ce procédé, comme on le voit, est beaucoup plus précis, plus complet que celui de Welcker. Il nous semble, cependant, qu'il est susceptible de modifications tant au point de vue de la sensibilité qu'au point de vue de la rapidité d'exécution. Nous aurons l'occasion de les indiquer lorsque nous décrirons notre méthode, qui n'est du reste que la transformation du procédé de Lesser.

—

Il est encore toute une classe de procédés que l'on pourrait très aisément appliquer à nos recherches : on les range sous le titre commun de "*méthodes chromométriques.*" Elles sont basées sur le pouvoir colorant de l'hémoglobine comme les méthodes colorimétriques, mais ici l'on prend comme terme de comparaison soit un étalon fixe, soit une échelle de couleurs, d'intensités différentes. Nous les présenterons d'une façon très résumée au lecteur, à seule fin de lui permettre d'apprécier plus complètement ce qui a été fait concernant notre sujet.

§ 4 (Suite). — **Méthodes chromométriques**

D. — PROCÉDÉ CHROMOMÉTRIQUE DE WELCKER. — La plus ancienne de ces méthodes, c'est l'échelle chromométrique de Welcker (1854). A l'aide d'un sang dont la richesse globulaire lui est d'ailleurs connue, cet observa-

teur fait une série de dilutions de concentrations différentes, et constituant une véritable gamme de couleurs dont chaque degré a une valeur parfaitement déterminée. Veut-il évaluer une solution de sang quelconque? Welcker la compare à son échelle de coloration, et bientôt il trouve le terme correspondant exactement à l'échantillon qu'il examine. De là une évaluation très approximative.

On le voit, cette méthode, comme toutes celles qui dépendent du même principe, est fondée sur une unité tout à fait arbitraire. Il n'y a effectivement aucune règle, aucune loi présidant à la confection de l'échelle titrée : de là, on le comprendra aisément, une véritable confusion lorsqu'il s'agit de comparer des solutions sanguines d'individus différents, puisqu'elles sont rapportées à une même unité, choisie en dehors de toute condition et ne présentant rien d'absolu. Pour ce qui nous concerne, ce n'est cependant point là un inconvénient : nous n'avons jamais à examiner que le sang d'un seul individu.

E. — MÉTHODE DE HAYEM (1). — Confirmant le principe du compte-globules avec le principe colorimétrique, Hayem a imaginé de remplacer les solutions liquides de Welcker par une échelle peinte à l'aquarelle. L'équivalent en globules de chaque degré de cette série étant soigneusement déterminé, il sera toujours possible en procédant par compa-

(1) Hayem. Des caractères anatomiques du sang dans les anémies (Acad. des sciences, 10 juillet 1876); recherches sur la coloration du sang (Soc. de Biolog. 1876, séance du 4 novembre) et communication sur le dosage chromométrique de l'hémoglobine. In. Soc. de Biolog. 16 juin 1877.

raison de fournir la richesse d'une solution donnée. Cette méthode est préférable à l'échelle de Welcker, en ce sens qu'elle est d'un usage beaucoup plus rapide et plus simple que cette dernière, dont la préparation nécessite des travaux assez délicats, et qui a l'inconvénient de s'altérer très vite.

—

Ces deux procédés ont pour base une échelle de coloration faite à l'avance et une fois pour toutes : c'est ce qui en constitue, nous l'avons dit, la principale cause d'erreur. Il est un autre groupe de méthodes chromométriques, qui utilisent la modification de Lesser et qui nécessitent pour chaque évaluation nouvelle la préparation d'un étalon, ou tout au moins une adaptation de ce dernier, au taux duquel doivent être successivement ramenées toutes les solutions de sang que l'on désire examiner. Nous citerons en première ligne la méthode de Hoppe-Seyler.

F. — MÉTHODE DE HOPPE-SEYLER. — Elle consiste (1) à comparer la solution de sang qui fait l'objet de l'analyse à une solution d'hémoglobine parfaitement titrée. La solution et le sang dilué sont placés dans deux récipients de verre identiques, et l'on ajoute au second de l'eau distillée jusqu'à ce que son intensité de coloration soit semblable à celle de la solution titrée. Dès lors sa richesse est connue. L'appareil a été appelé par son auteur l'*hématomètre*.

(1) HOPPE-SEYLER. Beiträge zur Kentniss des Blütes des Menschen. In Med.-Chemi. Untersüch. Heft II, p. 169. 1867.

La difficulté de cette méthode, c'est la préparation d'une solution titrée d'hémoglobine cristallisée, d'autant plus que celle ci doit être renouvelée pour chaque évaluation.

G. — MODIFICATION DE RAJEWSKI [1]. — M. Rajewski a découvert que les solutions de *Picrocarminate d'ammoniaque*, convenablement préparées, imitaient exactement les solutions d'hémoglobine. Pour arriver à établir la comparaison, il fait d'abord une solution d'hémoglobine parfaitement titrée qu'il appelle l'*étalon provisoire*, et dont il connaît par conséquent la valeur très exacte. Puis il prépare une solution de Picrocarminate dont l'intensité de coloration soit identiquement égale à celle de l'étalon provisoire et qui lui servira de terme fixe dans ses analyses : cette solution, il l'appelle l'*étalon définitif*, et les résultats qu'elle fournit sont très sensibles.

La modification de Rajewski présente sur la méthode de Hoppe-Seyler cet avantage que la solution-type n'est pas aussi facilement altérable que les solutions organiques. Il ne faut donc pas la renouveler aussi souvent que ces dernières. Malheureusement, pour ce qui concerne le dosage du sang, tout le bénéfice de la méthode de Hoppe Seyler est perdu ; puisque l'on s'est servi une fois encore d'un sang quelconque comme type pour préparer la solution de Picrocarminate à laquelle seront comparées ultérieurement toutes les autres solutions sanguines.

(1) RAJEWSKI. Zur Frage über die quantitative Bestimmung des haemoglobins. In Pflüger's Archiv. Bd. XII, p. 70. 1875.

II. — PRINCIPE DE MANTEGAZZA (1). — Cette méthode a également pour but d'apprécier directement la valeur d'un mélange sanguin ; elle repose sur ce principe qu'une dilution de sang est d'autant plus transparente qu'elle renferme moins de globules rouges en suspension : en conséquence, plus un liquide sera opaque et plus il sera riche en sang.

Quant à la façon dont l'auteur a utilisé cette idée très simple, la voici : il fait remarquer que si l'on place une solution de sang devant la flamme d'une bougie, et que l'on interpose une lame de verre colorée (en bleu, par exemple) entre la solution et l'œil de l'observateur, l'éclat de la lumière sera d'autant plus affaibli que la coloration du verre sera plus intense, ou que le nombre de plaques sera plus grand.

Cela posé, il prépare une série de lames colorées représentant chacune une quantité déterminée de globules (126,000 par mm. cube, par exemple); puis, faisant une solution titrée de sang (un centimètre cube de sang pour 96 d'eau), il ajoutera successivement les lames de verre jusqu'à ce que la lumière disparaisse complètement. D'après le nombre de lames interposées, il sera facile de calculer par une simple soustraction le nombre de globules renfermés dans le mélange soumis à l'expérience.

Ce procédé, d'ailleurs très simple, présente la même cause d'erreur que la méthode de Rajewsky, car tous les calculs ont été faits d'après la composition d'un sang quelconque pris

(1) MANTEGAZZA Paolo. Del globulimetro nuovo strumento per determinari rapidamentè la quantità dei globetti rossi del sangue. Milano, 1865.

comme type. Or, si le sang que l'on examine n'est pas identique à celui que l'auteur a choisi la première fois pour la confection de ses appareils, le dosage par comparaison sera impossible et tous les résultats obtenus seront entachés d'erreurs.

Pour éviter celles-ci, il faudrait avant chaque opération régler l'appareil par un dosage spécial du sang que l'on désire examiner, ce qui compliquerait le procédé au point de le rendre impraticable.

§ 5. — Analyse spectrale

A. — MÉTHODE DE PREYER [1]. — Enfin nous avons une dernière méthode à décrire, c'est celle qui est basée sur les propriétés optiques de l'hémoglobine. On sait effectivement qu'une solution concentrée de ce corps placée sur le trajet des rayons du spectroscope, ne laisse passer que les rayons *rouges*. Or, si l'on dilue avec précaution le liquide, il arrive un moment où apparaissent les rayons *verts* du spectre. C'est cette particularité, très appréciable du reste, qui constitue le moyen d'analyse du sang. Et en effet, si l'on a soin de noter la valeur exacte de la solution d'hémoglobine au moment où le phénomène se produit, on possédera un excellent point de comparaison pour la suite. Il suffira de diluer une solution quelconque jusqu'à l'apparition des

(1) PREYER. Quantitative Bestimmüng des Farbstoffs im Blüte dürch das *Spectrum*. In Liebig's Annalen. Bd. CXL, p. 187, 1866.

rayons verts, et un calcul très simple déterminera par différence la composition du liquide examiné.

Ce procédé, très sensible, serait tout à fait recommandable, s'il n'était précisément compliqué par l'usage du spectroscope. Mais cet appareil exigeant des soins minutieux et nombreux pour que l'expérience se fasse toujours dans les mêmes conditions, son application nous paraît difficile et moins pratique que l'un des autres procédés décrits antérieurement.

§ 6. — Appréciation générale des procédés décrits

Après avoir exposé quelques-unes des nombreuses méthodes proposées pour l'évaluation quantitative du sang, le moment nous paraît venu d'apprécier leur valeur respective et de fixer enfin notre choix motivé.

Il ressort de ce que nous avons vu jusqu'ici, que chaque observateur s'est généralement efforcé de trouver dans le sang un élément que nous appellerions volontiers *fixe*, sans vouloir donner à ce mot le sens qu'on lui attribue en chimie; si l'on préfère, chacun a basé ses opérations sur la recherche d'un facteur déterminé, toujours le même pour la même méthode.

C'est aux globules rouges que l'on s'est adressé le plus souvent pour déterminer la valeur d'un mélange sanguin. Les uns ont préconisé la numération des globules, les autres ont tiré parti de la matière colorante répandue dans les solutions. Quant à nous, nous nous sommes arrêté à ce

dernier principe, que nous considérons comme le plus exact et le plus pratique.

La première de toutes les conditions, à notre avis, pour arriver à un résultat sérieux et constant, c'est de pouvoir pratiquer une analyse quelconque sur un échantillon qui soit identiquement semblable à tout le reste de la masse liquide dans laquelle il a été puisé. Or, nous ne saurions admettre qu'en opérant d'après les méthodes de Malassez ou de Hayem par exemple, sur un millimètre cube de sang, et comptant les globules renfermés dans la 150e partie de ce millimètre, on ait examiné une portion absolument égale à toutes les autres, soit de l'économie, soit même du mélange dont on l'a extraite; et cela, par la raison bien évidente que les globules n'étant pas dissous, mais simplement en suspension, leur répartition n'est pas nécessairement la même partout. On ne trouvera pas deux millimètres cubes ou deux portions de millimètre cube renfermant le même nombre de globules ; et partant, deux numérations faites sur des parties différentes d'un mélange ne seront jamais identiques. Rappelons de plus ce que nous avons dit antérieurement [1] sur les proportions que prennent de légères erreurs, grâce aux multiplications que nécessitent ces procédés, et nous aurons la conviction que les résultats fournis ne sauraient être précis.

Dans les procédés colorimétriques ces inconvénients n'existent pas. L'hémoglobine qui sert de base aux opérations

(1) Voir pages 38 et 41.

étant préalablement dissoute, on n'examine plus ici des corps en suspension inégalement répartis, mais une véritable *solution*, c'est-à-dire un liquide dont toutes les parties sont absolument égales et identiques. La première cause d'erreur disparaît donc dans cette nouvelle méthode. D'autre part, l'examen portant sur des quantités beaucoup plus considérables (de 20 à 100 centimètres cubes), les écarts d'appréciation deviennent par le fait plus petits; et, les calculs étant d'importance moindre, il est certain qu'une légère erreur ne saurait jamais prendre de bien grandes proportions [1]. Pour ces motifs, nous avons préféré baser notre analyse sur la répartition de l'hémoglobine dissoute.

Quant à l'application de ce principe, nous avons également nos réserves à faire. Nous ne saurions admettre, en effet, l'emploi, *pour nos recherches*, des méthodes de Welcker, de Rajewsky et d'autres, dans lesquelles un échantillon de sang ou une échelle de coloration sont pris pour *étalons définitifs*. Nous avons fait remarquer, et nous répéterions volontiers, que le sang de deux individus n'étant pas nécessairement identique, on ne peut établir de comparaison entre eux : c'est dans le sujet lui-même qu'il faut puiser le sang nécessaire à la *solution-type*.

Nous sommes donc d'avis que celle-ci doit être aussi fréquemment renouvelée que les expériences.

(1) Alors que dans les procédés de *numération des globules* on multiplie un premier nombre par 300 millions (voir page 42), il nous suffit, dans nos évaluations, de diviser un chiffre par 5 pour arriver au résultat final. (Voir première partie, ch. III, § 6).

Mais comme, d'autre part, il ne saurait être question de se livrer chaque fois à une préparation chimique aussi délicate et aussi longue que l'exigent les procédés de Rajewski ou de Mantegazza (pp. 49 et 50), il nous a paru recommandable, à tous les points de vue, de nous arrêter à une méthode se rapprochant de celle de Lesser, que nous envisageons comme la plus pratique et la plus exacte en même temps.

Elle est *pratique*, puisqu'elle n'exige l'emploi d'aucun appareil spécial d'un maniement difficile;

Elle est *exacte*, car nous l'avons soigneusement vérifiée avant de la proposer [1].

Cela posé, arrivons à la description détaillée de notre manuel opératoire.

(1) Les résultats de Lesser confirment d'ailleurs complètement les nôtres. Cet auteur nous apprend, en effet, dans son travail *sur la répartition des globules rouges*, déjà cité, qu'il a vérifié son procédé colorimétrique par la méthode spectrale, qui est sans contredit la plus sensible de toutes. Or, de ses recherches il a conclu que son mode d'analyse par les yeux seuls, et sans le secours d'aucun appareil, avait une sensibilité et une délicatesse absolument égales à celles de l'analyse au spectroscope. Il a donné la préférence à sa méthode colorimétrique en raison même de sa grande simplicité et de sa remarquable facilité d'exécution. Il y a d'ailleurs attaché une si grande importance que la majeure partie des expériences qui constituent son travail sont basées sur ce moyen d'investigation.

CHAPITRE III

MÉTHODE

Notre méthode consiste à préparer, au préalable, une solution de sang, que nous appelons la *solution titrée;* à extirper ensuite l'organe soumis à l'expérience, à en extraire tout le sang au moyen de lavages répétés, et à comparer enfin le mélange obtenu à la solution titrée, pour en déduire la quantité de sang contenue dans l'organe.

Cette analyse comporte plusieurs opérations distinctes que nous tenons à décrire séparément, et dans autant de paragraphes, dont voici du reste l'énumération dans l'ordre de leur succession :

§ 1er. *Préparation de la solution titrée;*

§ 2. *Extirpation de l'organe en expérience;*

§ 3. *Extraction du sang; solution de lavage;*

§ 4. *Filtration;*

§ 5. *Examen comparatif des deux solutions, et*

§ 6. *Déduction de la quantité de sang contenue dans l'organe extirpé.*

§ 1er. — Préparation de la solution titrée

Pour faire cette solution, nous commençons par enlever à l'animal un échantillon de sang représentant le plus exactement possible la valeur normale de ce liquide. Nous avons pensé que le sang artériel constituait le meilleur type de la composition moyenne, *tout au moins quant à la distribution de l'hémoglobine* qui sert de base à nos évaluations, et nous avons choisi de préférence l'artère carotide gauche, parce qu'elle est facilement accessible et qu'ainsi l'on évite de trop grandes destructions de tissus.

L'animal étant donc pesé et fixé au chevalet de Czermak, nous incisons la peau dans une étendue de deux centimètres environ, sur la ligne médiane et au niveau de la trachée ; et, écartant les tissus au moyen de crochets mousses, nous découvrons immédiatement à côté du conduit respiratoire l'artère carotide, que nous dégageons avec soin de sa gaine aponévrotique. Puis, ayant placé une ligature d'attente du côté du cœur, nous introduisons dans le vaisseau l'extrémité d'une pipette parfaitement graduée, et nous recueillons un centimètre cube de sang.

Avant cette opération, nous avons préparé quelques litres d'une solution aqueuse de sulfate de soude au $^1/_{200^e}$, dont une partie est destinée à la solution titrée et le reste aux solutions de lavage qui entraîneront tout le sang de l'organe

examiné. Le but de cette solution saline est de conserver intact pendant quelque temps le sang qu'elle renfermera, et aussi d'obtenir une dissolution complète de la matière colorante.

L'échantillon de sang est immédiatement reçu dans un litre de la liqueur saline, et le tout est soigneusement battu au moyen de baguettes de verre pour empêcher la formation spontanée de flocons fibrineux, lesquels dans ces conditions emprisonneraient une partie de la matière colorante, et constitueraient une cause d'erreur, qu'il est d'ailleurs très facile d'éviter. Il est utile aussi, avant de laisser s'écouler le sang de la pipette, de s'assurer s'il ne renferme pas une certaine quantité d'air, que l'on reconnaît à la présence de petits globules gazeux s'élevant le long des parois du tube vers la surface libre du liquide. Dans ce cas, il suffit d'attendre quelques secondes en tenant l'appareil verticalement, et dès qu'il présente une colonne d'un rouge compact et uniforme, on a la certitude de pouvoir doser avec netteté la quantité voulue.

Cela étant fait, nous avons une solution au $^1/_{1000^e}$, d'un rose pâle, parfaitement transparente, et pouvant se conserver sans subir d'altération pendant plusieurs heures : c'est notre solution titrée, à laquelle les liquides colorés contenant le sang extrait devront tous être comparés.

Si nous avons choisi dans nos expériences une solution-type aussi diluée, c'est afin d'atteindre une précision plus grande dans l'évaluation : il peut y avoir certaine erreur dans la comparaison de deux liquides dont la coloration est intense ; au contraire, entre deux solutions pâles, on perçoit de minimes

différences, les nuances les plus délicates sont faciles à saisir, et on se fait une idée très exacte du degré de concentration des liqueurs que l'on examine. Nous avions d'abord choisi comme type la solution au $^{1}/_{400^{e}}$; nous l'avons diluée davantage, et nous en sommes arrivé aujourd'hui à faire usage de solutions au $^{1}/_{1000^{e}}$; elles sont encore assez colorées pour que la teinte soit franche, elles sont en même temps assez pâles pour admettre les plus légères nuances. Enfin la solution au $^{1}/_{1000^{e}}$ simplifie singulièrement les calculs, comme nous le verrons bientôt ; elle épargne des difficultés d'opérations et ainsi évite des fractions qui ne sont souvent que le résultat des proportions que l'on a fixées arbitrairement dans l'expérience.

§ 2. — Extirpation de l'organe en expérience

Dès lors, l'expérience peut être continuée, et nous avons à enlever l'organe. Comme nous l'annoncions page 20, nous nous contenterons d'indiquer ici les généralités concernant cette partie importante, nous réservant de fournir plus de renseignements dans l'étude spéciale des organes (IIe partie). Chacun de ceux-ci exige, en effet, un manuel opératoire particulier, qu'il est très utile de décrire avec tous les détails qui s'y rattachent, soit directement soit indirectement.

L'animal est maintenu sur le dos ou couché sur l'abdomen, mais toujours on le place de telle sorte que les fonctions de l'organe que l'on désire étudier ne soient en aucune façon gênées ni troublées.

Chaque organe possède nécessairement deux ordres de vaisseaux : les artères venant du cœur, les veines s'y rendant. L'opération consiste à arrêter *au même instant* toute circulation dans les vaisseaux, de manière à fixer dans le réseau vasculaire de l'organe tout le sang qui le traversait à un moment donné.

Si les deux ordres de vaisseaux sont séparés, comme dans le foie, par exemple (artère et veine hépatiques d'une part, veine-porte d'autre part), il faudra les isoler avec précaution et passer un fil de soie autour de chacun d'eux. Dans ce cas un aide sera nécessaire, puisque les deux ligatures doivent être fermées en même temps.

Au contraire, si tous les vaisseaux sont réunis dans une gaine et forment une espèce de hile, comme pour les poumons et les reins, on les comprendra tous en une seule ligature. Quant à la façon de lier des vaisseaux situés profondément, nous faisons usage, pour y parvenir, de bâtonnets munis d'anneaux conducteurs, dans lesquels nous passons les deux chefs de la ligature ; grâce à cette disposition les vaisseaux sont comprimés entre l'extrémité inférieure, arrondie, de l'instrument et l'anse du fil, tandis que le nœud se fait à la partie supérieure. Cela présente plusieurs avantages : d'abord nous n'exerçons aucune traction sur les vaisseaux ni sur l'organe au moment de la fermeture du nœud, ce qui entraverait la circulation ; et de plus nous ne nous exposons pas à déchirer les vaisseaux par une ligature qui, jetée directement, pourrait être trop fortement serrée.

Enfin, si la circulation est complexe comme celle du

cerveau ou celle des muscles, nous appliquons un fort écraseur à la base de l'organe en expérience, et nous le fermons en un seul mouvement, de manière à obtenir une compression *instantanée* et une ligature en masse.

Le point principal de cette opération c'est de choisir le moment opportun pour serrer les ligatures, et c'est ensuite de les fermer bien simultanément lorsqu'il y en a plusieurs. Si ces deux conditions sont remplies, on peut être certain de l'exactitude du résultat.

Immédiatement après ce premier temps on sacrifie l'animal et l'on s'occupe d'extirper l'organe. Cette partie de l'opération est très délicate et doit être conduite avec beaucoup de soin, car la moindre piqûre ou déchirure entamant la substance provoquerait aussitôt une hémorragie, qui annulerait évidemment toute l'expérience. Après s'être assuré que les ligatures ne peuvent se détacher ni glisser, on coupe les vaisseaux un peu au delà de celles-ci, on sépare avec précaution l'organe des tissus environnants, et on le place dans une capsule tarée. On pèse alors l'organe *gorgé de sang*, et l'on note ce poids à la suite du poids total de l'animal.

§ 3. — Extraction du sang; solution de lavage

Après la pesée, l'organe est découpé en très petits morceaux, que l'on écrase même le plus complètement possible, et on ajoute de la solution de sulfate de soude en assez grande quantité pour prévenir la coagulation; puis on laisse baigner le tout pendant une heure environ afin que le tissu

s'imprègne bien du liquide. Cette précaution n'est pas inutile, car nous avons constaté que, grâce à elle, le lavage se fait avec beaucoup plus de facilité que s'il est commencé immédiatement.

Au bout de ce temps, le hachis est malaxé avec soin et réduit en bouillie, et l'on recherche s'il ne s'y trouve pas de petits caillots; ceux que l'on pourrait rencontrer sont recueillis dans un sachet de toile très épaisse; on les écrase avec précaution dans la liqueur saline, et on exprime jusqu'à ce qu'ils soient complètement fondus et dissous.

La bouillie elle-même est renfermée dans un linge à mailles serrées et tordue à siccité; puis elle est retrempée dans une nouvelle portion de liquide pur, elle est de nouveau malaxée et exprimée, et cela jusqu'à ce que l'eau de lavage sorte absolument incolore. A ce moment la bouillie, de rouge qu'elle était au début de l'opération, est devenue tout à fait blanche : il est permis d'affirmer que tout le sang qu'elle contenait est passé dans les eaux de lavage.

Toutes ces eaux sont alors réunies en une seule masse que l'on brasse de manière à rendre le mélange uniforme, et l'on ajoute de la solution saline jusqu'à obtenir un total de *deux litres* de liquide. C'est ce mélange que nous appelons la *solution de lavage*.

Il n'est pas indispensable de préparer deux litres de cette solution. Nous avons fixé ce chiffre pour simplifier les opérations et les rendre plus précises.

—

§ 4. — Filtration

La solution de lavage ainsi obtenue n'est pas transparente. Généralement, quelque soin que l'on ait mis à la préparer, elle est trouble, lactescente, et cela pour deux raisons : d'abord il y a des particules du tissu réduit en bouillie qui passent à travers les mailles du linge employé au lavage ; ensuite et surtout, la solution renferme ordinairement des flocons graisseux, qui sont tenus en suspension dans la masse et la rendent opaque ; ce qui altère sensiblement la teinte rougeâtre dont l'intensité doit servir de base à l'évaluation de la quantité de sang. C'est là un sérieux inconvénient, car il est impossible d'apprécier rigoureusement le degré de coloration d'un liquide ayant des reflets blanchâtres en le comparant à une solution limpide. Il faut donc inévitablement filtrer la solution de lavage, ou plutôt une partie de cette solution. Vingt centimètres cubes au plus suffisent largement à l'opération.

On commence par brasser vivement les deux litres de lessive et l'on puise au milieu de la masse la petite quantité de liquide nécessaire ; puis on procède à la filtration. Pour cela, il faut tout d'abord laisser reposer pendant un certain temps la partie à filtrer, afin que les corps gras, en vertu de leur densité moindre, viennent nager à la surface du liquide. On verse alors la solution sur le filtre, et l'on rejette les premières portions qui passent toujours très vite. Insensiblement l'opération se ralentit, les pores du papier paraissent se remplir des substances retenues, le liquide les traverse avec

plus de difficulté, et dès lors la solution filtrée est parfaitement limpide et transparente. Il est inutile de faire remarquer que tout cela n'influe nullement sur la matière colorante, qui, elle, est dissoute, et ne peut en aucune façon être retenue sur le filtre.

§ 5. — Examen comparatif des deux solutions

Le degré d'exactitude du procédé colorimétrique auquel nous avons recours, dépend non seulement du soin que l'on apporte à faire les solutions, mais aussi des conditions dans lesquelles on se place pour les examiner. On ne s'étonnera donc pas si nous exposons également dans tous ses détails cette partie de l'opération, qui n'est certainement pas la moins importante.

On se procure deux longues éprouvettes graduées, en verre de Bohême, ayant un centimètre environ de diamètre, et pouvant contenir 100 centimètres cubes de liquide. Leurs diamètres et l'épaisseur de leurs parois doivent être identiques.

Ces deux tubes, dont la graduation a été préalablement vérifiée, sont adaptés l'un à côté de l'autre sur un écran uniformément blanc, que l'on place près d'une fenêtre et dans un plan vertical perpendiculaire à celle-ci. De cette façon l'observateur (qui se tiendra de manière que l'appareil se trouve entre lui et la fenêtre) examinera les solutions à la lumière directe, ce qui nous semble préférable à la méthode préconisée par M. le docteur von Lesser, et dans

laquelle on examine les auges à la lumière réfléchie (voir page 44).

Et, en effet, les éprouvettes dont nous faisons usage étant cylindriques, il est possible, grâce à notre disposition, de les apprécier *en tous sens*, sans commettre d'erreur. Or, l'aspect de la colonne liquide variant avec chaque angle sous lequel on la considère, l'observation porte sur autant de points différents, et permet d'arriver à une très grande approximation. Disons cependant que c'est au moment où le rayon visuel fait avec l'écran un angle d'environ 45° que la comparaison nous a paru être la plus sensible et la plus nette.

Outre ces différents modes d'investigation, l'appareil, tel que nous venons de le décrire, possède encore des ressources dont il ne faut pas négliger de profiter.

C'est d'abord l'aspect que nous offre l'écran lui-même. Le long des tubes et du côté opposé à la fenêtre, il y a une portion éclairée par les rayons qui ont traversé le liquide. Cette bande lumineuse reflète fidèlement la teinte de la solution dont elle est l'image, et constitue un excellent moyen de vérifier la première opinion qu'on s'était formée.

C'est ensuite la partie inférieure des tubes, qui est très transparente et très claire, par suite de sa forme hémisphérique. C'est enfin le ménisque concave qui, par les phénomènes de réfraction, paraît au contraire très fortement coloré, quelle que soit la manière dont on l'examine. Il est aisé de comprendre que toutes ces propriétés réunies suffisent amplement à établir une observation minutieuse et complète. — Cela étant posé, voici comment l'on opère :

On remplit l'une des deux éprouvettes graduées de la solution titrée. Dans l'autre on mesure très exactement 10 centimètres cubes de la solution de lavage filtrée. Si l'on a suivi à peu près les indications fournies jusqu'ici, cette dernière solution est toujours de beaucoup plus colorée que l'autre. Sans enlever le tube de la planchette on ajoute de la liqueur saline par un compte-gouttes, et la masse est mélangée sans interruption au moyen d'un agitateur à palette horizontale et percée de trous. On continue ainsi jusqu'à ce que les teintes des deux liquides juxtaposés correspondent absolument, *sous tous les aspects que nous avons signalés ci-dessus.* Alors on lit sur l'échelle de graduation à quelle hauteur on est arrivé, et l'on note ce chiffre.

Pour terminer, il est utile de s'assurer de l'exactitude de l'observation par un dernier examen. Pour cela, sur un second écran, semblable au premier, sont fixés, à égale distance l'un de l'autre, trois tubes à réaction *non gradués,* mais de même diamètre et à parois *extrêmement minces,* ce qui en rend la sensibilité d'autant plus exquise. Ces tubes ont été du reste contrôlés au préalable, en les comparant au moment où ils contenaient une même solution.

On remplit les deux tubes extrêmes de la solution titrée, tandis que dans le tube central on verse de la solution de lavage filtrée et étendue. Si cette vérification, qui est d'une précision excessive, confirme l'observation antérieure, on peut déclarer que les deux liquides ont la même valeur colorimétrique, et conséquemment la même composition sanguine.

§ 6. — Déduction de la quantité de sang contenue dans l'organe extirpé

On possède alors tous les éléments nécessaires pour évaluer par le calcul, la quantité absolue de sang qui se trouvait dans l'organe en expérience, au moment précis où la ligature des vaisseaux a été faite.

En effet, nous connaissons la concentration de la solution titrée : nous l'avons préparée au 1/1000ᵉ. Notre solution de lavage ayant atteint le même degré de coloration se trouve être également au 1/1000ᵉ. Dès lors, si nous figurons par x l'inconnue, c'est-à-dire la quantité de sang de l'organe, par a la masse totale de la solution de lavage (2 litres), par b la portion enlevée à cette dernière (10 centimètres cubes), et par c enfin le volume atteint par la quantité b pour amener cette dernière à la concentration au 1/1000ᵉ, nous pourrons établir l'équation suivante :

$$x = \frac{a \times c}{1000 \times b}$$

Remplaçons cette formule générale par les chiffres que nous avons proposés dans le paragraphe précédent, et dont nous ne nous écartons jamais, précisément dans le but de simplifier les calculs, notre équation devient :

$$x = \frac{2000 \times c}{1000 \times 10} = \frac{c}{5}$$

Si l'on a suivi nos recommandations, il suffira donc pour déterminer la valeur de x, c'est-à-dire le sang contenu dans l'organe, *de diviser par* 5 *le nombre de centimètres cubes*

trouvés dans l'éprouvette graduée après l'examen comparatif. On le voit, cette évaluation est d'une simplicité remarquable, et les erreurs pouvant résulter soit de calculs infinis, soit de rapports irréguliers ne sont nullement à craindre ici.

Ajoutons pour finir que cette méthode, dont nous venons d'énumérer tous les détails, est d'une grande rapidité d'exécution. Autant elle a pu paraître, par la description, longue et embarrassante, autant l'application en est simple et aisée. Nous osons même affirmer que l'expérience, telle que nous la proposons, quant à l'évaluation de la quantité de sang, ne présente jamais ni obstacle ni difficulté.

Nous savons maintenant combien de sang baignait l'organe que nous avons examiné, au moment précis de l'expérience. Mais cette valeur, par elle-même, est-elle suffisante? indique-t-elle bien tout ce que nous étions en droit d'attendre de l'expérience? Évidemment non. — Le chiffre ainsi obtenu ne représentant à l'esprit qu'une quantité isolée et particulière, ne renferme aucun sens ni aucune utilité. Pour lui donner sa véritable signification, il est indispensable de le rattacher à d'autres quantités connues, et d'établir un rapport d'où ressorte clairement une formule générale, capable de donner la valeur exacte et constante de l'organe au point de vue de sa circulation.

Nous aborderons cette phase nouvelle de notre sujet dans un prochain chapitre; mais, au préalable, il nous semble opportun de rencontrer quelques objections que l'on pourrait adresser à notre méthode, et d'indiquer, comme conclusion, les moyens que nous avons employés à contrôler son exactitude et sa précision.

CHAPITRE IV

OBJECTIONS RELATIVES A NOTRE PROCÉDÉ

—

§ 1er. — La coloration de la solution de lavage indique-t-elle bien la quantité de sang qui y est contenue?

Nous n'hésitons pas à répondre affirmativement à cette première question. Evidemment, nous n'oserions pas prétendre que, *d'une manière absolue*, la coloration d'une solution quelconque de sang suffise à déterminer la quantité de sang contenue dans une autre solution sanguine, par la raison que la composition chimique ou morphologique du sang n'étant pas toujours égale chez des individus différents, son pouvoir colorant doit varier dans la même proportion. C'est précisément ce qui nous a fait rejeter les méthodes chromométriques dont nous avons parlé au chapitre II de ce travail. Mais tel n'est pas le cas qui nous occupe, puisque nous ne comparons jamais que des solutions faites au moyen de deux portions de sang, retirées simultanément ou à court intervalle à un seul et même sujet.

D'autre part, la coloration d'un liquide sanguin dépendant

de la quantité d'hémoglobine qu'il renferme, et celle ci étant, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle au nombre des globules rouges, on peut déclarer positivement que la coloration d'une solution est en rapport avec le nombre de globules qu'elle possède et en conséquence avec la quantité de sang qui y est dissoute.

La méthode colorimétrique telle que nous l'entendons est donc basée en définitive sur le même principe que l'*analyse spectrale*, laquelle est considérée comme la plus exacte et la plus sensible.

Quant à notre affirmation concernant le rapport qui existe entre l'hémoglobine répandue dans une liqueur et le degré de coloration de celle-ci, elle se trouve entièrement confirmée par M. le docteur von Lesser dans ses conclusions sur la *Répartition des globules rouges du sang* (1). Voici ce qu'il dit :

“ Pour rechercher la quantité d'hémoglobine contenue „ dans le sang, l'examen colorimétrique des solutions san- „ guines, au moyen des yeux seuls, donne des résultats „ excellents et tout *aussi exacts que les meilleures méthodes.* „ Ce procédé est cependant préférable à tous les autres par „ la facilité de son exécution, et la simplicité du manuel „ opératoire. ”

§ 2. — Le sang a-t-il partout la même coloration?

Avant de répondre à cette question, rappelons ce fait que

(1) VON LESSER, page 103, I.

la coloration du sang est due à l'hémoglobine ou à ses composés, et qu'elle ne dépend pas sensiblement des autres corps qui y sont dissous. Ce n'est donc pas à proprement parler la composition chimique du sang qui doit nous préoccuper en ce moment ; nous savons d'ailleurs qu'elle varie considérablement selon les organes qu'il traverse.

L'hémoglobine étant la cause de la couleur plus ou moins prononcée du liquide sanguin, c'est la répartition de cette substance que nous avons à rechercher dans les différentes portions de l'arbre circulatoire. En d'autres termes, la question que nous venons d'énoncer revient à celle-ci : Le sang renferme-t-il partout la même quantité de matière colorante ou d'hémoglobine? M. le docteur von Lesser, qui a spécialement étudié le sujet, nous répond ce qui suit [1] :

“ Dans les voies qui conduisent à l'appareil cardiaque, „ comme dans celles qui en reviennent ; dans le système „ aortique comme dans les veines qui se vident dans le „ cœur droit (veines des extrémités, réseau des veines-portes), „ le CONTENU D'HÉMOGLOBINE EST IDENTIQUEMENT LE „ MÊME. ”

En conséquence la substance qui constitue la base de nos évaluations est également répartie dans les veines et dans les artères, c'est-à-dire dans tous les ordres de gros vaisseaux sanguins [2].

(1) VON LESSER, page 103, II.

(2) Nous nous permettrons cependant de faire ici une réserve personnelle. Nous ne pensons pas que la répartition des globules soit absolument la même dans les réseaux capillaires et dans les gros vaisseaux. L'hémoglobine ne saurait donc être en

On nous objectera peut-être que si la quantité d'hémoglobine est la même, ses qualités changent, puisqu'en réalité la couleur du sang veineux diffère essentiellement de celle du sang artériel ; qu'en outre une partie du sang que nous enlevons aux organes étant nécessairement veineuse, elle n'aura pas la coloration du sang artériel qui a servi à la préparation de notre solution titrée.

Nous croyons pouvoir répondre que ce fait n'exerce aucune influence sur nos résultats, puisqu'il suffit du contact du sang veineux avec l'oxygène de l'air pour qu'immédiatement il s'oxyde, s'artérialise et reprenne la couleur rutilante du sang artériel. Or, le brassage auquel nous soumettons nos mélanges sanguins, les place en rapport intime et direct avec l'oxygène, et leur procure uniformément la coloration du sang oxygéné.

§ 3. — La matière colorante de certains organes n'influe-t-elle pas sur l'aspect de la solution de lavage ?

Parmi les organes sur lesquels nous avons expérimenté, il n'y a guère que le foie pour lequel cette objection ait quelque importance. Dans les poumons, dans le cerveau, dans les muscles il n'existe pas de matière colorante autre que l'hémoglobine du sang, en quantité suffisante pour

égale quantité dans ces deux ordres de vaisseaux sanguins. C'est là une cause d'erreur inhérente à tous les procédés colorimétriques ou chromométriques. Mais nous ne la croyons pas assez importante pour enlever à ces méthodes leur supériorité sur toutes les autres. Voir ce qui a été dit à ce sujet pages 52 et suivantes.

provoquer une erreur d'évaluation. Quant au foie, nous y rencontrons il est vrai la sécrétion biliaire. Mais si l'on fait une coupe dans un foie normal, extirpé selon les règles générales que nous avons formulées, on ne lui trouve qu'une seule coloration, c'est précisément celle du sang veineux. La matière colorante biliaire s'y présente relativement en quantité si minime, que son effet peut être considéré comme beaucoup moindre qu'il ne paraît être à première vue. Du reste, cette influence se fait d'autant moins sentir que la dilution de notre eau de lavage est plus grande. La bile n'y existe en réalité qu'à l'état de traces, et est incapable de modifier d'une manière sensible la teinte de la solution sanguine. Il est superflu sans doute d'ajouter que nous faisons abstraction complète de la vésicule et des vaisseaux biliaires, dont la présence occasionnerait de véritables erreurs.

Nous ferons remarquer aussi que le sang étant un liquide de composition extrêmement complexe, quel que soit l'élément que l'on choisisse comme base de l'évaluation, on est toujours exposé à commettre quelque irrégularité. Nous avons la conviction, quant à nous, que c'est en suivant le procédé que nous recommandons, que l'on évitera le plus facilement les inexactitudes et les erreurs.

CHAPITRE V

VÉRIFICATION DES RÉSULTATS FOURNIS PAR NOTRE PROCÉDÉ

Outre les preuves d'exactitude que notre méthode nous a fournies jusqu'à présent, nous avons tenu à instituer une série d'expériences spéciales, tendant à contrôler directement les résultats du procédé colorimétrique, tel que nous l'avons modifié.

§ 1er. — **Épreuve par le colorimètre de Duboscq**

Nous avons employé cet appareil à seule fin de vérifier la valeur des évaluations faites au moyen des yeux seuls, sans le secours d'aucun instrument. Pour cela, après avoir amené deux solutions de sang au même degré de coloration, d'après les règles énoncées au chapitre III, nous les avons examinées au colorimètre afin de nous assurer si les teintes étaient réellement identiques.

Le *colorimètre de Duboscq* est basé sur ce principe que

si l'on regarde par transparence un liquide coloré, la coloration paraîtra d'autant plus intense que l'épaisseur de la couche liquide interposée sera plus grande. Il n'a pas pour but de donner la concentration absolue d'un liquide, mais la *différence* de coloration de deux liquides déterminés. C'est donc un véritable *colorimètre différentiel.*

L'appareil se compose de deux godets de verre dans lesquels on place les liquides à examiner; au milieu de ceux-ci plongent deux cylindres creux, mobiles dans le sens vertical, et fermés à leur partie inférieure par une mince lamelle de verre. Ces deux tubes peuvent isolément monter ou descendre le long d'une échelle graduée, et baigner ainsi plus ou moins profondément dans les liquides colorés. Dans le grand axe des deux tubes et immédiatement au-dessus d'eux, se trouve un prisme destiné à diriger par réfraction tous les rayons lumineux qu'ils reçoivent dans une seule lunette, par laquelle on examine, grâce à cette disposition, les deux liquides à la fois.

Il est facile de comprendre que plus les cylindres plongeront dans les liquides, plus ceux-ci paraîtront clairs et transparents; plus au contraire ils s'élèveront, plus l'épaisseur de la couche colorée augmentera, et plus aussi la coloration deviendra intense.

Lorsqu'on regarde deux liquides différents par la lunette, le champ de celle-ci est coupé en deux parties inégalement colorées. Mais il suffit d'élever ou d'abaisser l'un des tubes pour qu'à un moment donné les deux surfaces de la lunette se confondent en une seule teinte; si alors on lit sur l'échelle

la graduation marquée par les deux indicateurs, on trouve deux chiffres qui sont dans le même rapport que les colorations des deux solutions.

Cela posé, introduisons dans les godets de cet appareil : d'une part, notre *solution titrée,* d'autre part, la *solution de lavage,* que nous considérons comme identique à la première ; quelle que soit la profondeur à laquelle nous placions l'un des deux tubes, l'autre devra descendre exactement au même niveau, si les colorations des deux liquides sont semblables ; c'est-à-dire que les chiffres indiqués sur les deux échelles devront toujours être correspondants.

Cette expérience peut du reste être répétée plusieurs fois pour les mêmes solutions à des profondeurs différentes ; de cette manière nous ne comparons pas seulement les deux liquides pris en masse ; nous avons aussi la faculté de vérifier l'égalité de leur coloration *couche par couche,* ce qui constitue évidemment un examen très complet.

A différentes reprises nous avons recommencé cette vérification, et nous devons déclarer que toujours le *colorimètre de Duboscq* est venu confirmer les résultats que nous avait fournis notre procédé. Nous avons donc pu contrôler par nous-même cette affirmation de Lesser rapportée plus haut que “ l'examen colorimétrique des solutions de sang au „ moyen des yeux seuls, donne des résultats aussi exacts „ que les meilleures méthodes d'analyse. ”

Nous n'avons pas employé cet instrument dans nos recherches parce que, s'il nous a été d'un concours précieux pour la vérification de notre procédé, d'autre part il nous

eût été très difficile de l'appliquer d'une façon constante et journalière à l'évaluation de nos solutions de lavage. Notre système est de beaucoup plus pratique et plus expéditif.

§ 2. — Examen par la numération des globules

Deux solutions sanguines de même coloration ont-elles le même nombre de globules? telle est la question que nous nous sommes posée et à laquelle nous avons voulu répondre expérimentalement. Dans ce but nous n'avons point pu nous servir des liqueurs salines comme véhicule; nous savons, en effet, qu'elles désagrègent la trame des éléments morphologiques, mettent en liberté la matière colorante et la dissolvent complètement. Nous avons fait usage du *sérum artificiel*, dont la formule a déjà été donnée [1], et qui a pour effet de conserver les globules rouges intacts de manière à pouvoir les examiner au microscope et en faire la numération.

Nous avons donc répété l'une de nos expériences en suivant les règles formulées, mais avec cette différence qu'au lieu d'employer notre solution de sulfate de soude au $1/_{200}$, nous n'avons usé que du sérum artificiel. Après avoir terminé notre dernière épreuve par les trois tubes à réaction dont nous avons parlé page 66, nous avons successivement puisé dans chacun d'eux, au moyen du *capillaire de Hayem et Nachet*, un demi-millimètre cube de liquide que nous avons reporté sur la cellule d'un micromètre objectif quadrillé.

(1) Voir page 37.

Nous avons employé le même grossissement (160) dans les trois opérations, et nous avons soigneusement compté les globules d'après les préceptes indiqués par Malassez. Les résultats obtenus ont été très satisfaisants, en ce sens que l'écart n'a pas été plus grand entre la solution de lavage et l'une des deux solutions titrées, qu'il n'a été entre les deux solutions titrées elles mêmes.

En suite de ces faits nous sommes autorisé à présenter les propositions suivantes :

1° La *numération des globules* n'est pas un procédé rigoureux, puisque deux opérations faites dans les mêmes conditions et sur le même liquide ne fournissent pas les mêmes résultats ;

2° En tenant compte de la limite de sensibilité de la numération des globules, cette méthode confirme la précision du procédé colorimétrique.

Enfin nous achèverons de répondre à la question qui fait l'objet de ce paragraphe en disant que Welcker, se servant d'un procédé semblable à celui que nous venons d'exposer [1], a prouvé directement :

" Que, chez le même animal, la matière colorante est dans " un rapport constant avec la richesse en globules. "

§ 3. — Appréciation directe

Nous avons imaginé un dernier moyen de vérifier si réel-

(1) Welcker. Archiv. der Vers. f. gem. Arb., t. I, et Prager Vierteljahrsschrift, t. IV, cité par *Wundt*, Élém. de phys , p. 233.

lement notre méthode pouvait donner exactement la quantité de sang contenue dans un organe. Cette fois nous l'avons soumise à une épreuve directe, d'ordre purement expérimental, et en dehors de toute considération théorique.

Nous avons chargé un aide d'imprégner une petite éponge neuve, d'une quantité de sang à lui connue. Ayant considéré cette éponge ainsi préparée, comme un organe extirpé et gorgé de sang, nous l'avons traitée comme tel par des lavages répétés, et nous avons pu déterminer, à quelques centièmes près, le volume de sang qui y avait été introduit.

Après ces diverses expériences, nous croyons pouvoir conclure à l'exactitude de notre procédé. — Reprenons maintenant ce que nous disions page 68, et voyons comment nous devons interpréter les résultats qu'il nous fournira dans la suite.

CHAPITRE VI

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS OBTENUS

—

§ 1er. — Moyens de les représenter par des nombres constants

Nous avons déterminé la quantité absolue de sang qui baignait un organe à un moment donné, et nous avons tout lieu de croire que notre résultat est exact. Mais ce chiffre isolé, que nous indique-t-il? Quelle conclusion prendre si nous le comparons à d'autres nombres de même origine? Comment concevoir enfin s'il est plus ou moins élevé que celui d'une autre expérience, alors même qu'elle serait faite dans des conditions tout à fait semblables?

Évidemment ce ne sont pas les quantités absolues qui par elles-mêmes ont une importance quelconque, puisqu'elles varient considérablement avec la taille et le poids des animaux. Pour mettre en relief leur véritable signification, il est indispensable de les rattacher à quelque autre valeur, et de démontrer le *rapport* rationnel et invariable, capable de représenter à l'esprit un fait constant et bien défini.

Dans le cas qui nous occupe, nous croyons avoir trouvé ce rapport, en comparant le volume du sang contenu dans l'organe, au volume de la masse totale du sang de l'animal. Afin de bien nous pénétrer du mécanisme de cette opération, citons, à titre d'exemples, quelques-unes des expériences rapportées dans la IIe partie de ce travail.

Nous pouvons établir un parallèle remarquable entre l'expérience I et l'expérience VII de nos recherches sur la circulation pulmonaire. Toutes deux ont eu pour but de déterminer la quantité de sang baignant les poumons en *inspiration*. La première nous fournit comme résultat 5,08 centimètres cubes de sang, tandis que la seconde nous donne 9 centimètres cubes. Il y a là un écart allant presque du simple au double. Quelle valeur ces deux chiffres ont-ils, quelle signification peut-on leur donner d'une façon absolue? Aucune assurément. Mais si nous tenons compte de la masse totale du sang des deux animaux, nous constatons que ces deux nombres, si différents, sont dans un rapport absolument identique avec cette quantité et qu'ils en constituent le $^{1}/_{12}$. Dès lors le seul chiffre qu'il soit utile de retenir ce n'est plus la quantité réelle de sang trouvée dans les poumons, c'est $^{1}/_{12}$, qui représentera désormais à l'esprit la valeur relative mais exacte de cette quantité.

De même, quand nous trouvons chez un animal (expérience IV) 6,35 centimètres cubes de sang dans les poumons en *expiration*, tandis que chez un autre (expérience I) nous n'en trouvons que 5,08 dans les poumons en *inspiration*, faut-il conclure que les poumons en expiration renferment

plus de sang que ces mêmes organes en inspiration? Point du tout, puisque du calcul proportionnel auquel nous nous sommes livré, il ressort au contraire que les 6,35 centimètres cubes de l'expérience IV ne sont que le $^1/_{18}$ de la masse totale du sang, alors que 5,08 centimètres cubes dans l'expérience I en sont le $^1/_{12}$.

Ces deux exemples suffisent amplement à montrer combien il était nécessaire de fixer un rapport invariable. Celui que nous proposons nous paraît être rationnel, puisqu'il permet de représenter par des nombres constants des valeurs qui n'étant pas les mêmes en apparence, sont cependant en réalité absolument identiques. Nous avons la faculté de cette manière, non seulement de généraliser les résultats obtenus sur des organes placés dans des circonstances analogues, mais encore il nous est loisible de comparer les différences constatées dans des états variables, et de tirer des conclusions en rapport avec les faits constatés.

—

Nous venons de voir comment il est possible de représenter la quantité de sang d'un organe en la comparant à la masse totale. Il est une autre façon non moins intéressante de formuler la valeur d'un organe *au point de vue de la répartition du sang*, c'est d'indiquer sa CAPACITÉ SANGUINE, c'est-à-dire la quantité de sang contenue dans l'unité de poids de l'organe.

Nos expériences ont largement confirmé ce fait que les organes renferment des quantités de sang très différentes;

certains d'entre eux ont une vascularisation extrêmement abondante, tandis que d'autres possèdent peu ou point de vaisseaux. Nous nous sommes demandé s'il ne serait pas possible de représenter cette différence par un chiffre, une formule très simple.

Évidemment le rapport à la masse totale que nous avons indiqué plus haut nous donne la *richesse absolue* en sang de l'organe, considéré dans son entier, mais il ne tient aucun compte du volume ou du poids de ce dernier. Il nous semble cependant qu'il ne serait pas inutile de connaître aussi la valeur du *tissu* même de l'organe quant à sa vascularisation. Pour cela, il manque dans l'évaluation que nous avons donnée un facteur : c'est, nous l'avons fait remarquer, le poids de l'organe.

Pour déterminer cette valeur nouvelle, nous proposons la méthode suivante : Après avoir extirpé l'organe, on le pèse encore gorgé de sang; puis on extrait celui-ci, et l'on retranche le poids du sang [1] du poids total de l'organe : on obtient ainsi le poids de l'organe dépourvu de sang. Au préalable, on a pesé l'animal tout entier, on a également soustrait le poids de la masse totale du sang de cette quantité, et l'on a trouvé le poids de l'animal exsangue.

Alors, établissant, d'une part le rapport qui existe entre le poids de l'organe exsangue et le poids de l'animal dans les mêmes conditions, d'autre part le rapport du sang de l'or-

(1) Pour faire cette opération, on réduit les centimètres cubes en grammes, en tenant compte de la densité relative (1055) du sang.

gane à celui de l'animal tout entier, il suffit de diviser le premier chiffre trouvé par l'autre pour obtenir un coefficient que nous appelons *la capacité sanguine de l'organe.*

Cette deuxième formule complète la première, et par leur combinaison il devient possible d'établir la valeur toute entière d'un organe, tant au point de vue de l'importance du rôle qu'il joue considéré dans son ensemble, qu'au point de vue de l'activité intime de son tissu propre.

Pour mieux exprimer notre pensée, prenons comme exemples les deux expériences sur la circulation pulmonaire portant les nos VII et IV. La première a pour but de déterminer la quantité de sang contenue dans les poumons en inspiration : nous venons de voir qu'elle est égale au $^1/_{12}$ de la masse totale. Le but de la seconde est de déterminer la même quantité dans les poumons en expiration : elle est trouvée égale au $^1/_{18}$ seulement de la masse totale. Si maintenant nous recherchons la capacité sanguine de ces organes dans les deux états, nous trouvons qu'elle est représentée dans les poumons en inspiration par le nombre 13, alors que dans les poumons en expiration elle n'est que de 8. Cette même méthode, appliquée à une expérience que nous avons faite sur les reins, assigne à ces organes une capacité sanguine beaucoup moindre; elle y est représentée en effet par 2,5.

On peut donc dire que la capacité sanguine des poumons en inspiration est à celle des poumons en expiration comme 13 : 8; et que la capacité de ceux-ci est à celle des reins comme 8 : 2,5.

§ 2. — Signification de ces nombres

D'après ce qui vient d'être énoncé, la *quantité de sang* ainsi que la *capacité sanguine* sont extrêmement variables dans les divers organes. Nous pourrions même diviser ceux-ci en organes très vasculaires et organes peu vasculaires.

Et en effet, en supposant que toutes les parties du corps eussent la même vascularisation, il faudrait évidemment que la quantité de sang qu'elles renfermeraient fût *proportionnelle à leur masse*. De façon que, si un organe débarrassé de tout son sang représentait la $^1/_{15}$ partie du poids de l'animal dans les mêmes conditions, cet organe possédât aussi la $^1/_{15}$ partie du sang total. Dans ce cas, la capacité sanguine serait uniformément représentée par 1, car les deux rapports seraient identiques.

Mais il n'en est pas ainsi ; nous constatons au contraire que tantôt c'est la proportion de sang qui est la plus élevée, tantôt c'est le rapport en poids qui l'emporte. Ainsi dans les poumons la proportion de sang est de beaucoup supérieure au rapport en poids. Dans d'autres parties c'est le contraire qui arrive. Il en résulte que certains organes renferment plus de sang qu'ils n'en auraient si la répartition était égale, la valeur de leur capacité sanguine est supérieure à l'unité, et l'on peut les ranger parmi ceux que nous appelions tout à l'heure très vasculaires ; d'autres par contre se trouvent dans la situation opposée, leur capacité sanguine est représentée par un

chiffre inférieur à l'unité, et l'on peut les classer parmi les organes peu vasculaires. Il y aura donc une étroite connexité entre la répartition du sang dans les organes et leur capacité sanguine; et celle-ci sera en définitive l'expression la plus exacte de leur *richesse en sang.*

§ 3. — Conséquences de ce qui précède

De tout ce qui précède il résulte que nous avons la faculté de considérer la répartition du sang dans les organes sous un double point de vue :

1° Le rapport de la quantité de sang contenue dans l'organe à la masse totale du sang, nous donne une première idée générale de la *valeur absolue* du sang de l'organe;

2° La *capacité sanguine* nous fournit le rapport de la quantité de sang de l'organe comparée à sa masse; en d'autres termes, elle nous donne une idée très nette et très exacte de la valeur du tissu propre de l'organe, eu égard au sang qu'il renferme.

Étant donné le rôle essentiellement vivifiant et nutritif du sang dans l'économie, on peut supposer avec certaine raison que la somme de travail physiologique qu'un organe sera capable d'accomplir, sera d'autant plus considérable qu'il renfermera une quantité de sang plus grande, ce qui confirme du reste ce principe énoncé déjà par Beaunis (1) que la

(1) Beaunis. — Éléments de physiologie, page 107.

“ vitalité d'un tissu est en rapport avec sa richesse sanguine. „

Nous pouvons donc prévoir, dès à présent, que la *valeur absolue* du sang ainsi que la *capacité sanguine* d'un organe seront plus développées chaque fois qu'il entrera en fonctionnement, et qu'au contraire ces deux quantités diminueront dès que l'organe sera au repos.

Nous reprendrons cette proposition dans le cours de notre étude, lorsque nous pourrons baser nos appréciations sur les résultats précis de nos expériences.

Nous terminons ici ce que nous avions à dire relativement à l'exposé de notre méthode. Dans la partie suivante nous aborderons l'étude des organes dont il a été parlé dans l'introduction.

DEUXIÈME PARTIE

—

EXPÉRIENCES SUR LES ORGANES

—

CHAPITRE PREMIER

EXPÉRIENCES SUR LES POUMONS

Les poumons renferment-ils constamment la même quantité de sang? Tous les physiologistes sont d'accord aujourd'hui pour admettre qu'il n'en est pas ainsi, et que cette valeur se modifie avec les mouvements respiratoires. Mais *à quel moment y a-t-il plus de sang dans le réseau pulmonaire, à quel moment y en a-t-il moins?* Tel est le problème que l'on n'a cessé de discuter jusqu'ici, et que nous cherchons à résoudre depuis environ trois ans.

Dans ce but, nous avons pratiqué plusieurs séries d'expériences, dont nous avons publié les résultats séparément, et aussitôt qu'ils nous étaient connus, vu l'importance de la question.

Dès 1880, nous avons adressé [1] à la *Société des sciences*

(1) E. Spehl, Trois expériences sur la circulation pulmonaire. In Journ. de médecine, p. 332. 1880.

médicales de Bruxelles, un travail dans lequel nous donnons la description succincte de quelques expériences faites sur la circulation pulmonaire. Nous avons poursuivi ces recherches, et un an plus tard nous avons publié, en collaboration avec M. le professeur Héger, un second travail [1], plus complet que le premier, mais dont les résultats n'ont fait, en définitive, que confirmer ceux que nous avions déjà obtenus; c'est le résumé de ces diverses observations qui fera l'objet du présent chapitre.

Aujourd'hui nous avons complété ces premières données par quelques expériences d'un intérêt plus pratique, et nous avons examiné dans un 2e chapitre quelle est l'influence de l'air des montagnes sur la circulation pulmonaire. Cette question, tout à fait neuve, présente une grande importance, depuis l'introduction dans la thérapeutique de l'air raréfié, spécialement comme moyen de traitement des affections des voies respiratoires.

Il est aisé de comprendre que, l'étude de la circulation pulmonaire nous ayant tout particulièrement intéressé depuis assez longtemps, c'est cette partie de notre sujet que nous traiterons avec le plus de détails.

§ 1er. — **Historique**

Pendant près de dix ans, les physiologistes se sont activement occupés de trouver la solution du problème de la circu-

(1) Paul Héger et Émile Spehl. Recherches sur la fistule péricardique. In Archives de Biologie, E. Van Beneden et Van Bambeke. Vol. II, 1881, p. 153.

lation pulmonaire ; et cependant la question est restée tout aussi obscure, tout aussi vague qu'elle l'était au début. De quoi cela dépend-il ? D'une seule cause, à notre avis : c'est que, jusque dans ces derniers temps, on n'a pas suffisamment expérimenté sur l'être vivant.

On a (1), il est vrai, insufflé le poumon chez des Batraciens, et on a inspecté les alvéoles ainsi préparées, au microscope ; mais dans cette expérience on n'a jamais pu avoir sous les yeux qu'un poumon distendu par insufflation d'air dans la trachée, ce qui, comme nous le verrons, place cet organe dans des conditions absolument anormales au point de vue de sa circulation sanguine.

L'objection la plus sérieuse que l'on puisse faire à toutes les expériences qui ont été instituées jusqu'à ce jour, c'est que jamais on n'a examiné la circulation pulmonaire de manière à permettre aux poumons de continuer à respirer librement et physiologiquement, pendant toute la durée de l'opération.

Quelle valeur par exemple peuvent avoir, au point de vue spécial qui nous intéresse, les résultats des circulations artificielles ? Aucune assurément, puisque le but vers lequel tendent tous nos efforts, c'est précisément de constater ce qui se passe *pendant la vie*, et dans les conditions se rapprochant le plus possible de l'état normal.

D'ailleurs, si l'on a appliqué aux poumons le procédé des

(1) Holmgren. Méthode zür Beobachtüng des Kreislaufes in der Froschlünge. Ludwig's Festgabe, Seite XXXIII, 1874.

circulations artificielles [1] c'est que, comme nous le disions précédemment, " *il paraissait* IMPOSSIBLE *de recourir à l'examen direct de la circulation du sang dans les poumons des mammifères.* „

Et, à notre avis, c'est précisément l'insuffisance des procédés mis en œuvre qui explique la divergence si marquée des opinions admises jusqu'aujourd'hui ; on sait, en effet, que pour les uns c'est à l'expiration que les poumons renferment le plus de sang, tandis que les autres admettent une opinion diamétralement opposée.

Nous n'entrerons plus dans les détails historiques et bibliographiques que nous avons donnés à ce sujet ; nous ferons remarquer seulement, en terminant, que le mode d'investigation que nous proposons s'adresse à l'animal vivant et ne modifie pas d'une manière sensible le jeu régulier de ses fonctions physiologiques ; par ce procédé, nous espérons donc donner la solution définitive de cette question délicate de la circulation pulmonaire, qui est à l'étude depuis trop longtemps déjà.

§ 2. — Manuel opératoire

Les physiologistes ont admis jusqu'ici sans discussion que la circulation pulmonaire était réellement inaccessible à tous

(1) QUINCKE et PFEIFFER. In Archiv. für Anatomie p. 90, 1871.
HÉGER. Expériences sur la circulation du sang dans des organes isolés. Bruxelles, 1873.

les moyens directs d'investigation. Claude Bernard [1] le premier a dit quelque part : " Nous avons pu, sans entamer " la plèvre pulmonaire, pratiquer une ouverture, une sorte " de fenêtre par laquelle on pouvait suivre les mouvements " du poumon. " C'est cette affirmation qui a servi de base et de point de départ à nos travaux sur la circulation pulmonaire.

Ayant incisé le sternum, par un trait de scie sur la ligne médiane, chez un lapin, nous avons pu constater que cette ouverture du médiastin antérieur, même quand on la maintenait béante, ne gênait pas notablement la respiration naturelle. Nous avons répété plusieurs fois cette tentative et jamais il ne fut nécessaire de pratiquer la respiration artificielle pour conserver l'animal en vie.

Ainsi que nous le disions précédemment [2], ce fait se comprend aisément, lorsque l'on réfléchit à la disposition de la plèvre à ce niveau : la résection partielle du sternum ouvre une cavité intermédiaire dont la paroi antérieure est seule lésée pendant l'opération ; si l'on y met tant soit peu de prudence, la plèvre ne sera pas intéressée, et l'animal continuera à respirer, bien que sa poitrine soit ouverte. L'asphyxie, au contraire, est immédiate si l'on perfore la plèvre des deux côtés du médiastin.

Quant aux phénomènes que l'on constate et aux précautions qu'il faut prendre chaque fois que l'on incise la paroi

(1) Claude Bernard, Leçons sur la physiologie et la pathologie du système nerveux, t. II, p. 367.

(2) Paul Heger et Émile Spehl, loco citato.

antérieure du médiastin, ils sont toujours invariablement les mêmes ; nous ne saurions donc mieux faire, pensons-nous, que de les décrire ici dans les termes mêmes où nous les avons exposés antérieurement. Il est évident du reste que, le manuel opératoire ne changeant pas, il est au moins inutile, sinon impossible, d'en modifier la description.

Lors donc que la fenêtre sternale est pratiquée chez le lapin : " On aperçoit les organes intra-thoraciques dans leur situation et leurs rapports normaux ; à travers la plèvre que sa transparence empêche presque d'apercevoir, on peut suivre les mouvements des poumons qui obéissent encore au vide et s'abaissent à chaque inspiration. Le péricarde, plus épais que la plèvre, est aussi plus opaque, et l'on constate les battements du cœur plus nettement avec la pulpe du doigt que par le secours des yeux ; il en est tout autrement lorsque le péricarde a été incisé et laisse le cœur à nu.

" Malgré l'ouverture persistante du médiastin et l'écartement des parois opposées du sternum, la respiration s'effectue régulièrement et le jeu du diaphragme provoque une expansion pulmonaire qui permet de conserver l'animal vivant durant des heures. Parfois il arrive cependant que pendant les premières minutes qui suivent l'incision sternale, la respiration est anxieuse, saccadée, entrecoupée de spasmes tétaniques qui font craindre l'asphyxie ; si la plèvre est intacte, cette gêne ne sera que momentanée, et après quelques convulsions le calme se rétablira ; alors la respiration prend un type diaphragmatique ou abdominal très régulier et toute menace d'asphyxie disparaît.

" C'est après avoir dûment constaté cette persistance de la respiration naturelle chez un lapin dont le médiastin communique avec l'atmosphère, que nous avons imaginé un procédé nouveau d'expérience : il consiste essentiellement dans l'établissement d'une fistule péricardique qui permet de passer autour des vaisseaux de la base du cœur une forte ligature ; en serrant celle-ci, on emprisonne le sang qui se trouvait dans les poumons soit pendant l'inspiration naturelle, soit pendant l'expiration ; on évalue ensuite cette quantité par le procédé colorimétrique décrit dans la première partie de ce travail.

" Inutile de rappeler ici toutes les circonstances qui nous ont amené à améliorer lentement le procédé primitif d'incision du sternum. Pour l'intelligence de la description qui va suivre, il importe cependant de se rendre compte des deux inconvénients que nous avons voulu éviter en perfectionnant la méthode suivie à nos débuts :

" 1° La résection partielle du sternum n'entrave pas l'hématose, il est vrai ; mais elle a l'inconvénient de modifier le rythme de la respiration ; même limitée à l'interstice qui sépare deux côtes, cette résection enlève à toutes les côtes insérées plus bas, le point d'appui qui leur est nécessaire pour dilater le thorax en se soulevant ; la respiration devient, par le fait, presque exclusivement diaphragmatique ; sans doute la survie de l'animal prouve que la suppléance s'établit d'une manière amplement suffisante ; mais nous avons bientôt donné la préférence à un procédé qui, en respectant le sternum, ne modifie en rien la respiration naturelle.

" 2° Un autre défaut du procédé primitif, c'était la suppres-

sion du vide péricardique : le péricarde est une cavité close, dans laquelle la pression varie par suite des mouvements du thorax et du jeu des poumons; l'ouverture du médiastin modifiait la pression péricardique en permettant à l'air d'exercer une pression constante au pourtour du cœur ; les mouvements respiratoires ne retentissaient plus sur le médiastin et les conditions dans lesquelles s'exécute la révolution cardiaque normale se trouvaient donc changées ; on verra, en lisant la description détaillée que nous allons faire de notre procédé, par quel moyen nous sommes arrivé à supprimer cette nouvelle cause d'erreur."

Le manuel opératoire comprend quatre temps :

Ier temps. — ÉTABLISSEMENT DE LA FISTULE PÉRICARDIQUE ;

IIe temps. — PLACEMENT DU FIL A LA BASE DU CŒUR ;

IIIe temps. — INTRODUCTION DU TUBE-OBTURATEUR ET OCCLUSION DE LA FISTULE ;

IVe temps. — LIGATURE.

Premier temps. — ÉTABLISSEMENT DE LA FISTULE PÉRICARDIQUE. — Le lapin est fixé sur le chevalet de Czermak, la tête modérément tendue, les membres supérieurs relevés et maintenus de manière à faciliter le jeu des muscles inspirateurs.

L'exploration digitale renseigne sur le siège précis du cœur ; toute la région précordiale est soigneusement rasée, puis on choisit l'espace intercostal à ouvrir en se guidant sur

le choc de la pointe; celle-ci bat généralement dans le quatrième espace intercostal. Il faut ouvrir aussi haut que possible, donc en se rapprochant de la base du cœur, sans dépasser toutefois la troisième côte; en ouvrant l'espace intercostal qui correspond à la pointe elle-même, on se prépare plus de difficultés pour la suite de l'expérience. C'est donc généralement le troisième espace intercostal que nous choisissons de préférence.

L'incision se fait à partir du bord gauche du sternum, dans l'étendue d'un centimètre, couche par couche, jusqu'à l'aponévrose intercostale interne, en évitant toute effusion de sang; il n'est pas inutile de placer à ce moment des ligatures sur les terminaisons sternales des troisième et quatrième côtes; on y arrive facilement avec une aiguille courbe munie d'un double fil. Dès que le feuillet nacré de l'aponévrose intercostale est mis à découvert, on renonce à l'instrument tranchant et on achève la perforation au moyen du petit doigt, que l'on introduit doucement jusqu'à ce que l'on sente avec la pulpe le contact du péricarde; si l'animal éprouve à ce moment de violents spasmes respiratoires, on fera bien de maintenir le doigt dans la plaie : il l'obture complètement et s'oppose ainsi au refoulement de la plèvre et à sa déchirure.

Le rythme respiratoire ayant repris son allure normale, on retire le doigt, et, au moyen d'une pince à dents on attire le péricarde jusqu'à ce qu'il affleure les bords de l'orifice; on lui donne un léger coup de ciseaux, et l'on applique les bords de l'ouverture péricardique ainsi obtenue contre les

bords de la fenêtre thoracique ; les aides établissent aussitôt quelques points de suture qui fixent aux côtes le péricarde incisé, absolument comme la paroi de l'estomac est fixée à l'orifice tégumentaire dans l'opération de Blondlot.

On le voit, le premier temps de l'opération comprend l'établissement d'une véritable fistule péricardique ; il serait d'une exécution simple si la nécessité de respecter la plèvre ne le compliquait parfois, et si, d'autre part, la fragilité du péricarde et la situation profonde du cœur n'amenaient aussi quelque difficulté. Une fois le cœur mis à nu, la partie intra-péricardique de tous les vaisseaux qui en naissent ou qui s'y rendent devient accessible, et l'on pourra placer une ligature qui contournera l'aorte, l'*artère pulmonaire,* les veines caves et les *veines pulmonaires;* cette partie de l'opération constitue le deuxième temps.

Deuxième temps. — PLACEMENT DU FIL A LA BASE DU CŒUR. — Le fil destiné à la ligature doit être très solide et assez épais ; un fil mince pourrait couper la paroi des vaisseaux en les comprimant ; nous nous servons d'un quadruple fil de soie, tordu et ciré ; pour passer ce fil derrière le cœur sans soulever celui-ci, nous avons recours à un porte-fil spécial, sorte de stylet courbe, percé d'un trou à son extrémité libre, dont la courbure doit être tantôt augmentée, tantôt diminuée, selon les dimensions du cœur ; il faut en avoir plusieurs à sa disposition parce que, la tige étant rigide, un seul ne peut suffire dans tous les cas. Il est même très utile d'en avoir de formes différentes, les uns à courbure dirigée

dans le sens de leur axe, d'autres à courbure perpendiculaire à la direction du grand axe : les premiers sont préférables chez les animaux d'une certaine taille, tandis que les seconds sont d'un usage plus facile chez les petits lapins.

Tenant le stylet de la main droite et laissant libre le fil attaché à son extrémité, on contourne le cœur de manière que le fil forme une anse dans laquelle le cœur est compris ; les deux extrémités de l'anse étant ramenées à l'extérieur, on refoule l'anse elle-même vers la base du cœur, le plus haut possible, de manière qu'elle entoure les vaisseaux de la base, ou tout au moins les oreillettes, et on laisse les deux bouts de la ligature émerger librement de la fenêtre thoracique.

Troisième temps. — INTRODUCTION DU TUBE-OBTURATEUR ET OCCLUSION DE LA FISTULE. — Après que le fil est mis en place, on introduit dans la cavité péricardique le *tube-obturateur* destiné : 1° à servir de tige conductrice et de point d'appui à la ligature au moment où elle sera serrée ; 2° à mettre le sac péricardique en communication avec un manomètre et un appareil aspirateur.

Pour l'intelligence du procédé, il ne sera pas inutile de donner la description succincte de l'appareil que nous venons de nommer le « *tube-obturateur* ».

Il présente la forme générale d'un Y, dont la longue branche est constituée par la réunion de deux tubes métalliques s'éloignant l'un de l'autre à leur partie supérieure et soudés dans le restant de leur étendue. *Ces deux tubes ne communiquent nullement l'un avec l'autre*; chacun d'eux présente latérale-

ment et en bas (vers la pointe inférieure de l'Y) un orifice, de telle sorte que la longue branche de l'appareil étant introduite dans une cavité close, les deux tubes communiqueront en réalité l'un avec l'autre, par l'intermédiaire de cette cavité elle-même.

Le long de la soudure médiane et des deux côtés de la tige droite, sont fixés de petits anneaux à travers lesquels passe le fil à ligature; grâce à cette disposition, l'anse du fil, qui doit au moment voulu serrer la base du cœur, se trouve maintenue au niveau où elle est placée par l'expérimentateur. Les deux extrémités libres du fil sortent des anneaux supérieurs, où ils s'entrecroisent sur la surface *élargie et polie* qui correspond au point de séparation des deux tubes. Il est clair que si un vaisseau quelconque était entouré par l'anse, il suffirait de faire le nœud à la partie supérieure de l'instrument pour comprimer immédiatement le vaisseau contre l'extrémité métallique et déterminer ainsi l'arrêt complet de la circulation.

Cela posé, on fait passer les deux chefs du fil à ligature dans les petits anneaux placés des deux côtés du tube; on fait un nœud provisoire, très léger, et l'on a soin *de ne pas serrer ce nœud,* afin de n'apporter aucune entrave au passage du sang qui doit entrer dans les poumons ou qui doit en sortir.

L'appareil une fois mis en place, on le fixe solidement par des ligatures aux parois de la fistule; on rapproche les bords opposés de celle-ci par quelques points de suture, et on achève enfin l'occlusion par des couches superposées de collodion; il est recommandable d'interposer entre ces couches

quelques touffes de poils empruntées aux parties voisines; on forme ainsi un feutrage absolument hermétique, adhérent et suffisamment solide pour résister aux variations de pression qu'il devra subir dans la suite de l'expérience.

Le tube-obturateur fixé et solidement maintenu dans la position voulue pour que la ligature reste au pourtour de la base du cœur, on le met en communication, par l'une de ses branches, avec un petit manomètre à mercure, et, par l'autre branche, avec un appareil aspirateur à déplacement, au moyen duquel on opère aussitôt un vide de quelques millimètres dans le péricarde. Les oscillations du mercure dans la longue branche du manomètre attestent si le vide se maintient au degré voulu (—4 à —10 millimètres); on constate fort bien, dans cette partie de l'expérience, combien les changements de pression amenés par les mouvements respiratoires retentissent sur la pression intrapéricardique : chaque inspiration fait descendre la colonne mercurielle de quelques millimètres; chaque expiration la ramène près du zéro sans toutefois lui permettre de l'atteindre. La respiration devient-elle convulsive, les oscillations s'exagèrent, et l'on voit alors les fortes expirations développer une pression positive.

Quatrième temps. — LIGATURE. — Rien n'empêche d'attendre pour exécuter le quatrième et dernier temps de l'expérience; on laisse donc s'écouler quelques minutes pendant lesquelles on s'assure itérativement de la constance du vide et de la régularité du rythme respiratoire. On choisit le

moment correspondant à une pause, soit en inspiration, soit en expiration, et brusquement, on serre la ligature, puis on achève de l'assurer par un double nœud.

La constriction subite a interrompu d'emblée toute communication entre l'appareil cardiaque et l'appareil pulmonaire ; tout le sang qui se trouvait dans les quatre cavités du cœur s'y trouve désormais enfermé et de même tout le sang qui circulait à ce moment dans les poumons s'y arrête, sans qu'une goutte puisse se perdre, sans qu'une goutte puisse venir s'y ajouter.

Quelques secondes après la ligature, l'animal meurt ; on ouvre avec précaution le thorax en incisant tout le sternum et sans toucher au tube obturateur ni à la ligature qui serre la base du cœur, puis on extirpe l'appareil cardio pulmonaire tout entier. Afin d'éviter toute perte de sang, on place, de part et d'autre de la ligature unique, deux ligatures nouvelles entre lesquelles on opère la section qui doit isoler les poumons du cœur, en conservant à chacun de ces organes son contenu sanguin.

Dès lors il suffit de procéder à l'extraction du sang d'après les principes généraux de notre méthode. Nous renvoyons donc pour ces détails I[re] partie, ch. III, § 3 (p. 61).

§ 3. — Compte-rendu des expériences

Nous avons fait trois séries de recherches ; nous rangeons dans la première série huit expériences faites en liant les vaisseaux de la base du cœur sans établir le vide au pour-

tour de cet organe, et en le laissant par conséquent soumis à la pression atmosphérique; de ces huit expériences trois sont rapportées ci-après. Dans la deuxième série se placent cinq expériences dans lesquelles le vide péricardique a été établi et maintenu entre —5 et —10 millimètres de mercure jusqu'au moment de la ligature; enfin la troisième série est représentée par une seule expérience destinée à contrôler, par notre nouvelle méthode, les résultats déjà connus et incontestés de l'insufflation trachéale sur la circulation du sang dans les poumons.

PREMIÈRE SÉRIE

Expérience n° I. — Lapin mâle pesant 1291 grammes. On extrait de la carotide 1 centimètre cube de sang destiné à servir de sang d'épreuve pour les évaluations colorimétriques. — Incision dans l'étendue de deux centimètres en partant du sternum, au-devant du cœur. Le quatrième espace intercostal est mis à nu; on passe, au moyen d'aiguilles courbes, deux doubles ligatures autour de la quatrième et de la cinquième côtes; l'espace compris entre ces deux ligatures est perforé sans hémorrhagie; en écartant les fibres intercostales, le doigt pénètre dans le médiastin; on sent la pulsation cardiaque et quand on retire le doigt, on constate que la respiration naturelle ne s'interrompt pas; la plèvre est intacte; un jet de lumière dirigé dans la cavité thoracique fait apercevoir le poumon gauche, qui descend à chaque inspiration. L'établissement de la fistule péricardique

ne présente aucune difficulté ; on soulève le cœur avec le porte-fil et on insinue autour de la base le fil à ligature, dont les deux chefs sont ramenés au dehors et fixés le long d'une tige de métal qui sert de support à la ligature. On attend quelques minutes, afin d'observer si le rythme respiratoire est régulier ; ligature à un moment où le thorax est fortement dilaté. L'animal meurt après quelques spasmes convulsifs.

On ouvre le thorax ; avant d'attirer les poumons hors de la poitrine, on place des ligatures sur les veines caves et l'aorte pour éviter que les poumons ne baignent dans le sang ; on extrait l'appareil cardio-pulmonaire, attaché à la tige de métal qui porte la ligature ; les poumons isolés, pleins de sang, pèsent 12g40 ; le cœur, dont les ventricules ne sont pas distendus, pèse 4g35. On calcule, par le procédé colorimétrique, les quantités de sang extraites des poumons, du cœur et de la totalité du corps de l'animal. Ces quantités sont respectivement de :

62,00 centimètres cubes pour la masse totale du corps ;
5,08 centimètres cubes pour les poumons ;
1,36 centimètre cube pour le cœur entier.

Appliquant à ces chiffres les calculs dont il a été question au chapitre VI de la Ire partie, nous obtenons les résultats suivants :

Les poumons renfermaient la $^1/_{12.3}$ partie de la masse totale du sang et leur capacité sanguine était de 13.

Expérience n° II. — Lapin pesant 1663 grammes. L'ex-

traction d'un centimètre cube de sang de la carotide et l'établissement de la fenêtre sternale sont pratiqués comme dans l'expérience précédente ; pendant qu'on soulève légèrement le cœur pour passer le fil à ligature, l'animal éprouve une syncope qui dure quelques secondes et se dissipe après que le fil est mis en place ; la respiration est ample, la plèvre intacte ; au moment d'une pause inspiratoire, on serre brusquement la ligature sur la tige de métal, et l'on extirpe, avec les précautions ordinaires, l'appareil cardio-pulmonaire, on constate que la ligature a été serrée au niveau du sillon auriculo-ventriculaire ; on en place aussitôt une seconde au-delà des oreillettes, sur les vaisseaux pulmonaires.

Poumons et cœur réunis pèsent 26g50 ; les poumons isolés 18 grammes. Le poids élevé du cœur est dû à ce que la ligature a été faite pendant une diastole ; les ventricules sont distendus par le sang. Les quantités respectives de sang trouvé dans les différents organes sont les suivantes :

Poumons		6,5	centimètres cubes.
Cœur	Ventricule gauche	1,3	centimètre cube.
	Reste du cœur	3,2	centimètres cubes.
Animal entier		83,00	centimètres cubes.

Ce qui donne $^1/_{12.7}$ pour la valeur absolue du sang des poumons ;

Et 12 pour leur capacité sanguine.

Expérience nº III. — Lapin pesant 1619 grammes. L'expérience est conduite absolument comme les deux précédentes, mais c'est au moment où le thorax est rétréci par

l'expiration que la ligature est serrée. Les poumons isolés pèsent 12g75. Les quantités de sang trouvées dans les organes sont respectivement :

79,00 centimètres cubes dans l'animal entier;

4,40 centimètres cubes dans les poumons;

3 58 centimètres cubes dans le cœur.

La valeur absolue du sang dans les poumons n'est égale ici qu'à 1/18.

Et sa capacité sanguine à 10.

Comme on le voit, les rapports sont tout autres ici que dans les premières expériences, qui offrent beaucoup d'analogie dans leurs résultats.

DEUXIÈME SÉRIE

Expérience n° IV. — Lapin pesant 2,292 grammes. L'animal subit d'abord la trachéotomie, afin que l'on puisse recourir à la respiration artificielle, si pendant les préparatifs de l'expérience la respiration venait à cesser. On extrait de la carotide un centimètre cube de sang pour les épreuves colorimétriques.

La peau est incisée au niveau du troisième espace intercostal, deux ligatures sont placées sur la troisième côte et deux sur la quatrième. Au moment de la perforation, violents soubresauts musculaires pendant lesquels on maintient le doigt dans la plaie. Lorsque le spasme a cessé, on constate que la plèvre est intacte ; le péricarde incisé est fixé aux bords de l'orifice par quatre points de suture. Le passage du fil autour

de la base du cœur s'opère sans amener aucun trouble, et les extrémités libres du fil sont ramenées le long du tube-obturateur, et fixées par un simple nœud, sans serrer. On incline le tube de manière à maintenir exactement l'anse du fil autour des vaisseaux de la base du cœur, puis on referme la fenêtre thoracique par des points de suture qui servent en même temps à fixer solidement en place le tube-obturateur ; on achève l'occlusion par un feutrage de collodion et de poils, puis on établit les communications avec le manomètre et avec l'appareil à aspiration mercurielle ; la pression intra-péricardique s'abaisse à — 5 mm Hg en expiration et — 10 en inspiration ; les oscillations respiratoires sont si bien marquées au manomètre qu'il est facile de faire coïncider la ligature du cœur avec l'expiration. Le reste de l'expérience est conduit comme précédemment. Le poids total des poumons extraits et isolés = 19g30. La quantité de sang qu'ils renferment = 6,35 centimètres cubes et la masse totale du sang contenu dans l'animal entier = 114 centimètres cubes.

Les poumons, au moment de l'expiration, contenaient donc une fraction correspondant à 17,9 soit $^1/_{18}$ comme dans l'expérience n° III. La capacité sanguine était ici de 9.

Expérience n° V. — Lapin pesant 1683 grammes. Trachéotomie, saignée d'un centimètre cube à la carotide, comme dans les autres expériences. L'établissement de la fistule péricardique et l'introduction du fil à ligature se font avec facilité. Après l'occlusion, la respiration est lente, les oscillations du manomètre atteignent — 4 en expiration et — 8 en inspira-

tion. Le vide se maintient exactement. Au moment où le thorax est dilaté par l'inspiration, on serre la ligature; l'extraction du sang et le calcul faits par la méthode indiquée ci-dessus donnent les chiffres suivants :

Poids des poumons isolés et pleins de sang 14g30;

Quantité de sang qu'ils contiennent, 6,1 cc.;

Quantité totale de sang contenu dans le corps, 80 cc.

Nous retrouvons donc ici le même rapport que dans les expériences de la première série; les poumons en inspiration contiennent le $^1/_{13}$ de la masse du sang ;

Leur capacité sanguine est 13.

Expérience n° VI. — Lapin pesant 2,153 grammes. Trachéotomie, saignée de 1 centimètre cube à la carotide, incision superficielle au niveau du troisième espace intercostal; pendant que l'on dissocie les fibres musculaires pour pratiquer l'ouverture, une petite hémorrhagie nécessite deux ligatures; quatre ligatures sur les troisième et quatrième côtes. Aucun incident. Après l'occlusion de la fistule péricardique, le manomètre marque — 4 à — 6 millimètres; la respiration est superficielle; on met la trachée en communication avec le *pneumographe.* Tracé normal. Au moment d'une pause en expiration, on serre la ligature à la base du cœur. Les poumons extirpés et isolés pèsent 17 grammes.

Le sang contenu dans les poumons = 7 centimètres cubes.

La masse totale du sang est de 105 centimètres cubes.

Le rapport est donc de $^1/_{15}$, chiffre intermédiaire à ceux que nous avons obtenus dans les expériences précédentes et dont

la justification se trouve dans le fait que les mouvements respiratoires n'étaient pas très développés à la fin de l'expérience.

La capacité sanguine est ici de 12.

Expérience n° VII. — Lapin pesant 2,180 grammes. Trachéotomie, saignée d'un centimètre cube à la carotide, incision faite un peu trop bas, au niveau du cinquième espace intercostal. Après l'établissement de la fistule péricardique, la difficulté de contourner le cœur à la base, en pénétrant par l'espace intercostal correspondant à la pointe, oblige à perforer le quatrième espace, pour pouvoir introduire le fil; l'expérience se continue ensuite sans incident jusqu'au bout; la ligature est serrée au moment où le thorax est dilaté par une forte inspiration.

Poids des poumons isolés, 21 grammes.

Quantité de sang qu'ils contiennent, 9 centimètres cubes.

Masse totale du sang, 105 centimètres cubes.

Le rapport est donc ici de $^1/_{12}$;

Et la capacité sanguine de 13.

La concordance entre les résultats de ces sept expériences est tout à fait remarquable et s'apprécie avec évidence en jetant un coup d'œil sur le tableau suivant, qui les résume :

EXPÉRIENCES SUR LES POUMONS

Numéros des séries	Numéros des expériences	État des poumons	Poids de l'animal	Quantité de sang dans la totalité du corps	Quantité de sang trouvée dans les poumons	Rapport de cette quantité à la masse totale	Poids de l'animal exsangue et abstraction faite des résidus digestifs	Poids des poumons dépourvus de sang	Rapport de cette quantité au poids de l'animal exsangue	Capacité sanguine des poumons
			gr.	c. c.	c. c.		gr.	gr.		
I	I	Inspiration	1291	62	5,08	1/12	1124	7,00	1/160	13
	II	Inspiration	1663	83	6,50	1/13	1585	11,00	1/144	11
	III	Expiration	1619	79	4,40	1/18	1421	8,10	1/175	9
		—	—	—	—	—	—	—	—	—
II	IV	Expiration	2292	114	6,35	1/18	2048	12,60	1/162	9
	V	Inspiration	1683	80	6,10	1/13	1440	8,00	1/180	13
	VI	Expiration	2153	105	7,00	1/15	1887	10,00	1/188	12
	VII	Inspiration	2180	105	9,00	1/12	1895	12,00	1/157	13

Si nous rapprochons, d'une part, les expériences faites en arrêtant la circulation pendant l'inspiration et, d'autre part, celles où la ligature a été serrée pendant l'expiration, la concordance des chiffres est encore plus frappante :

État des poumons	Numéros des séries	Numéros des expériences	Rapport de la quantité de sang trouvée dans les poumons à la masse totale du sang	Capacité sanguine
Inspiration	I	I	$^1/_{12}$	13
		II	$^1/_{13}$	11
	—	—	—	—
	II	V	$^1/_{13}$	13
		VII	$^1/_{12}$	13
Expiration	I	III	$^1/_{18}$	9
	—	—	—	—
	II	IV	$^1/_{18}$	9
		VI	$^1/_{15}$	12

Enfin si, pour mieux encore fixer les idées, nous tenons compte des moyennes des résultats que nous avons obtenus dans nos expériences, nous pouvons dire :

1° *Que généralement les poumons en* INSPIRATION *renferment la* $^1/_{13}$ *partie environ de la masse totale du sang de l'animal ;*

Tandis que les poumons en EXPIRATION *ne renferment, en général, que la* $^1/_{18}$ *partie de la même quantité.*

Et 2° *Que la capacité sanguine des poumons en* INSPIRATION *est à la capacité sanguine des poumons en* EXPIRATION *comme* 13 : 9.

Ce qui signifie, en définitive, non seulement qu'il y a plus de sang dans les poumons au moment de l'inspiration qu'à celui de l'expiration, mais encore, *que la quantité de sang circulant dans les poumons sera d'autant plus grande que l'inspiration sera plus profonde; et réciproquement que cette quantité sera d'autant moindre que l'expiration sera plus complète,* JUSQU'A DEVENIR NULLE OU PRESQUE NULLE DANS LES POUMONS COLLABÉS OU ATELECTASIÉS.

—

A l'appui de cette dernière proposition, nous croyons pouvoir citer ici quelques résultats des récents travaux faits par M. le professeur Rommelaere sur l'*atelectasie pulmonaire* (1). Dans le chapitre VII de son étude, cet auteur démontre expérimentalement que

“ *L'atelectasie détermine l'arrêt de la circulation pulmonaire.* ”

Pour cela, il provoque chez un animal l'atelectasie d'un seul poumon en ouvrant la cavité pleurale du côté correspondant. Puis il examine l'état des vaisseaux du poumon atelectasié, et les compare à ceux du poumon sain.

(1) ROMMELAERE (W.). De l'Atelectasie pulmonaire. In Annales de l'Université de Bruxelles. T. II, 1881, p. 225.

Deux procédés sont mis en usage :

Le premier consiste à pratiquer une " injection de matière " colorante dans le système de l'artère pulmonaire sur le " cadavre. — Si elle est oblitérée, l'injection ne pénétrera " pas. "

Le second procédé consiste à " injecter à l'animal en expé- " rience une solution de bleu d'aniline. La matière colorante " se fixe dans les vaisseaux parcourus par le sang, et produit " ainsi une image parfaite des parties pénétrées. "

Les résultats des deux procédés ont été absolument identiques et décisifs : ils ont permis à M. Rommelaere d'énoncer les conclusions suivantes :

1° " *L'injection d'une solution gélatineuse de bleu de " Prusse dans le tronc de l'artère pulmonaire, ne pénètre " pas dans les branches de ce système du côté atelectasié;*

2° " *Sur le sujet vivant, la circulation du sang est arrêtée " dans l'artère pulmonaire du côté atélectasié, alors " qu'elle continue à se faire du côté non atelectasié.* "

Ces faits prouvent non seulement que les mouvements respiratoires ont une action sur la circulation pulmonaire, mais encore que cette influence s'exerce précisément dans le sens que nous ont indiqué nos expériences.

TROISIÈME SÉRIE

Expérience n° VIII. — Nous nous sommes proposé de confirmer ici, par la méthode nouvelle, un fait ancien, déjà mis hors de doute depuis longtemps par les expériences de

Quincke et Pfeiffer et par celles de M. Héger, savoir : l'influence de la compression exercée à la surface alvéolaire des poumons sur le passage du sang dans ces organes. Un lapin de 1500 grammes fut soumis aux manœuvres décrites ci-dessus, et, avant de serrer la ligature cardiaque, on comprima l'air dans la trachée jusqu'à un niveau de 6 centimètres Hg. Cette compression eut pour effet de diminuer la quantité de sang contenue dans les poumons, au point de la réduire à moins d'un centimètre cube et demi. Les résultats de cette expérience sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Poids de l'animal	1500 gr.
Quantité de sang dans la totalité du corps	78 c. c.
Quantité de sang trouvée dans les poumons	1,3 c. c.
Rapport de cette quantité à la masse totale	1/60
Poids de l'animal exsangue et abstraction faite des résidus digestifs	1404 gr.
Poids des poumons dépourvus de sang	8 gr.
Rapport de cette quantité au poids de l'animal exsangue.	1/175
Capacité sanguine.	3

L'*insufflation de l'air* dans la trachée a donc, pour ainsi dire, vidé les poumons de leur contenu sanguin, par suite de la compression en masse des vaisseaux alvéolaires contre les parois résistantes du thorax.

Il y a longtemps déjà, Poisseuille (1) avait constaté que la

(1) Poisseuille. Recherches sur les causes du mouvement du sang dans les vaisseaux capillaires. — C. R. Acad. des Sc., t. I, p. 554-560, 1835. Cité par Paul Bert.

circulation se ralentit dans le poumon distendu par insufflation ; il n'en est pas moins intéressant de voir avec quelle énergie cette action se traduit : nous pouvons admettre, en nous basant sur les deux premières séries d'expériences, que la quantité de sang qui se trouvait dans les poumons du lapin, avant l'insufflation, équivaut à $^1/_{15}$ de la masse totale du sang ; par la compression, elle descend instantanément à $^1/_{60}$; la capacité sanguine est en même temps descendue de 11 à 3.

Que s'est-il passé, et comment l'air comprimé chasse-t-il ainsi le sang du réseau pulmonaire ?

Pour s'en rendre compte il suffit de se rappeler ce qui se passe dans les poumons soumis à la circulation artificielle [1], lorsqu'on élève la pression dans la trachée ; aussitôt la pression monte dans le manomètre qui communique avec l'artère pulmonaire, et l'écoulement veineux, qui s'est accéléré un instant pendant l'insufflation, se ralentit ou même s'arrête si la compression est forte.

L'air comprimé tend, par conséquent, à vider le réseau pulmonaire en comprimant les vaisseaux des alvéoles contre la plèvre viscérale ; pendant tout le temps que dure la compression, il y aura dans les poumons moins de sang qu'à l'état normal ; l'obstacle à l'écoulement amènera une *élévation* de pression dans le cœur droit, coïncidant avec une inévitable *diminution* de pression dans le cœur gauche.

(1) HÉGER. Recherches sur la circulation du sang dans les poumons. In Annales de l'Université de Bruxelles 1881, p. 129.

En d'autres termes, puisque les poumons constituent l'organe intermédiaire séparant le cœur droit et tout le système veineux d'une part, du cœur gauche et de tout le système artériel d'autre part, dès que dans cet organe se trouvera un obstacle quelconque au passage du sang circulant, il y aura fatalement pression plus forte que normalement en amont, et pression moins forte que normalement en aval des poumons :

Augmentation de pression dans tout le système veineux situé en amont des poumons;

Diminution de pression dans tout le système artériel situé en aval de ces organes,

Tels sont donc les effets d'une compression modérée de l'air respiratoire.

L'action de la pression de l'air sur le passage du sang dans les poumons s'exerce déjà très sensiblement dans les limites des oscillations de la pression barométrique; et les médecins savent que les chutes brusques de pression amènent souvent des hémoptysies chez les phtisiques; depuis quelques années ils ont également utilisé cette action mécanique de la raréfaction de l'air ou de sa compression, dans le traitement de certaines maladies se rattachant aux troubles de la circulation pulmonaire.

—

Nous ne saurions terminer ce paragraphe sans citer les expériences entreprises par quelques observateurs, précisément dans le but de rechercher l'influence de l'air comprimé

dans les poumons, sur la pression sanguine dans les veines et dans les artères.

Disons tout de suite que ces expériences, faites par un procédé tout différent du nôtre, confirment absolument les résultats que nous avons obtenus.

En 1875, MM. Drosdorf et Botschetschkaroff (1) ont institué une série d'expériences sur l'air comprimé, et au moyen de l'appareil de Waldenburg qui permet, comme on sait, de faire inspirer de l'air comprimé et de faire expirer dans une atmosphère raréfiée. Ayant fait inspirer à des chiens de l'air comprimé à 34^{mm}, 2 et ayant mis la carotide droite en communication avec le kymographe de Ludwig, ils ont constaté une diminution de pression beaucoup plus forte que normalement dans cette artère, au moment de l'inspiration.

La même année, M. Ducrocq (2) publiait à Paris, sous forme de thèse inaugurale, un travail dont les résultats étaient identiques à ceux que nous venons de signaler.

Enfin en 1877, M. le docteur Lambert, aidé de M. le professeur P. Bert, a repris à nouveau la question, en essayant de se mettre à l'abri de plusieurs causes d'erreur qu'il signale chez les auteurs précédents (3), et a complété d'une façon remarquable les résultats déjà connus.

Il s'est servi alternativement de la carotide et de la

(1) Drosdorf et Botschetschkaroff. Influence de la respiration d'air comprimé dans l'appareil de Waldenburg sur la pression artérielle. In Central bl., 1875, n. 5.

(2) Ducrocq. Étude expérimentale sur la respiration d'air comprimé. Paris, 1875.

(3) J. Lambert. Étude clinique et expérimentale sur l'action de l'air comprimé et raréfié, etc. Paris, 1877.

fémorale dans la mesure de la pression artérielle ; les résultats ont été les mêmes dans les deux cas. Pour rendre ces derniers plus complets, le docteur Lambert eut l'idée de prendre en même temps la pression veineuse dans la veine cave supérieure. Les tracés qu'il a ainsi obtenus ont prouvé que contrairement à ce qui se passe dans la respiration naturelle,

" *La pression baisse dans les veines lorsqu'elle augmente* " *dans les artères et réciproquement.* "

Enfin, après avoir répété ses expérimentations sur treize chiens différents, en variant les pressions, et faisant succéder les expirations dans l'air raréfié aux inspirations dans l'air comprimé, l'auteur tire la conclusion suivante :

L'air comprimé, à quelque pression qu'on l'emploie, amène :

1° *Une diminution de la pression artérielle;*

2° *Une augmentation de la pression veineuse.*

On le voit, ce mode d'investigation, tout à fait distinct de celui auquel nous avons eu recours, fournit cependant des résultats identiques aux nôtres. Il constitue donc une nouvelle confirmation de l'exactitude de notre procédé.

§ 4. — Conclusions

Les expériences dont on vient de lire la description sont, comme nous le disions en commençant ce chapitre, celles dont nous avons déjà publié les résultats précédemment. En

conséquence, il nous paraît inévitable de répéter ici les conclusions que nous en avions tirées lors de leur publication.

Voici donc comment nous nous exprimions à la fin de notre travail sur *la fistule péricardique :*

Les expériences dont nous venons de rendre compte fournissent une solution définitive à la question qui se débat depuis plus de dix ans et dont le point de départ doit être recherché dans le travail cité plus haut de MM. Quincke et Pfeiffer.

Nous venons de voir que

Pendant l'inspiration naturelle, les poumons contiennent plus de sang que pendant l'expiration.

Les expériences de la deuxième série démontrent

QU'IL EN EST TOUJOURS AINSI, *alors même que le cœur subit l'influence des pressions variables qui s'exercent sur lui, pendant la respiration naturelle.*

En présence de ce résultat dont notre procédé permet à chacun de vérifier l'exactitude, toute discussion théorique nous paraît superflue ; il ne nous reste qu'à justifier ce fait *expérimental,* à le raisonner et à en pénétrer le mécanisme.

Si la quantité de sang qui se trouve dans les poumons augmente au moment de l'inspiration, c'est que le cœur ne fonctionne pas comme un réservoir passif à parois dilatables sur lequel retentirait, comme sur une flasque de caoutchouc, le vide régnant à son pourtour. Toute l'argumentation de nos contradicteurs a toujours porté sur l'affaiblissement que le cœur éprouve par le fait du vide au moment de

l'inspiration; Quincke et Pfeiffer eux-mêmes admettaient que les poumons sont plus perméables lorsqu'ils sont dilatés (et sur ce point nous avons pleinement confirmé leur manière de voir), mais ils se préoccupaient de l'influence du vide, au point de le considérer comme une entrave à l'afflux du sang vers les poumons.

L'expérience démontre qu'il n'en est pas ainsi; est-ce à dire que la force du cœur *soit toujours la même quand la pression varie dans le péricarde?* Évidemment non; l'effort systolique doit être affaibli et la diastole facilitée pendant l'inspiration; mais en même temps, et par le fait de l'inspiration même, s'établit une action compensatrice dont nos expériences démontrent l'existence et dont nous croyons pouvoir expliquer comme suit le mécanisme :

En diminuant la pression dans le médiastin, l'inspiration attire le sang veineux provenant des vaisseaux extra-thoraciques qui n'ont pas cessé d'être soumis à la pression atmosphérique; en même temps l'inspiration facilite la dilatation de l'oreillette et la réplétion du ventricule droit; enfin, s'il y a moins d'énergie dans la contraction du cœur, la *résistance* à vaincre pour chasser le sang dans l'artère pulmonaire et dans ses branches de distribution est en même temps *beaucoup moindre.* Il en résulte que

„ *La quantité* (1) *de sang projetée dans les poumons pendant l'inspiration naturelle sera d'autant plus grande*

(1) Voir Héger et Spehl. Recherches sur la fistule péricardique. In. Ann. de Biologie, 1881, p. 178.

" *que l'appel du sang venant de l'extérieur du thorax sera* " *plus considérable, et que les voies pulmonaires elles-mêmes* " *seront plus dilatées.* "

L'afflux est donc proportionnel à la profondeur de l'inspiration.

Il ne faut pas nécessairement que l'affaiblissement de la systole cardiaque diminue la quantité de sang qui se trouve dans les poumons; le débit du ventricule droit dépend de trois facteurs dont l'acte musculaire n'est peut-être pas le plus important : ce débit n'est-il pas réglé,

1° Par la quantité de sang arrivant à l'orifice veineux, et par conséquent au ventricule droit, dans l'unité de temps ;

2° Par la force de la contraction ventriculaire ;

3° Par les résistances offertes à l'écoulement du sang de l'artère pulmonaire?

Nos contradicteurs n'ont eu devant les yeux que l'*affaiblissement de la systole* provoqué par l'inspiration ; ils n'ont pas mis en ligne les *influences compensatrices* que nous venons de signaler. On ne peut nier cependant que l'inspiration ne favorise la réplétion de l'oreillette et du ventricule droits ; on ne peut contester davantage que les résistances à l'écoulement ne soient moindres lorsque les vaisseaux pulmonaires sont dilatés par l'inspiration naturelle.

La *réplétion plus grande* des cavités servant de réservoir d'origine à la petite circulation, la *diminution simultanée des résistances* au passage du sang qui va du ventricule droit vers l'oreillette gauche, ce sont là deux actions synergiques capables de compenser l'affaiblissement de l'effort systolique.

La compensation dont nous venons d'indiquer le mécanisme a tout le temps de s'établir, car il y a toujours au moins *quatre pulsations cardiaques pour un mouvement respiratoire;* l'afflux sanguin venant de l'extérieur du thorax produira donc une onde qui aura eu le temps d'arriver aux poumons lors de la pause inspiratoire.

Quant à l'influence de l'air comprimé sur la quantité de sang contenue dans les poumons, nous croyons l'avoir suffisamment examinée au § 3 de ce chapitre. Nous nous contenterons de faire une dernière remarque pour finir, laquelle résumera tout ce qui précède.

C'est pendant l'inspiration *naturelle* que les poumons renferment le maximum de sang, tandis que c'est dans l'inspiration produite *par insufflation d'air comprimé* qu'ils en contiennent le minimum. Cela résulte de ce que le mécanisme de ces deux phénomènes est diamétralement opposé.

Dans le premier cas, le poumon se distend *par aspiration* exercée sur sa paroi externe, d'où pression négative des deux côtés des vésicules pulmonaires, et dilatation inévitable des vaisseaux.

Dans le second cas, au contraire, le même organe se distend *par refoulement* venant de l'intérieur vers l'extérieur, d'où pression positive des deux côtés des vésicules et compression des vaisseaux pulmonaires.

Ces deux faits ainsi réunis et mis en présence nous paraissent donner une consécration nouvelle aux principes que nous avons formulés précédemment, et une preuve de plus que les résultats fournis par notre procédé sont rationnels

et liés par des rapports logiques les uns aux autres.

Ici se termine notre premier chapitre, c'est-à-dire l'étude de la circulation pulmonaire pendant la respiration normale à la pression moyenne de 760mm. Voyons maintenant quelle est l'influence de la pression barométrique sur cette même circulation. — Cette question fera l'objet du chapitre II.

CHAPITRE II

DE L'INFLUENCE DE LA PRESSION BAROMÉTRIQUE SUR LA CIRCULATION PULMONAIRE

On a beaucoup préconisé, depuis ces dernières années, le traitement des affections des voies respiratoires par le séjour dans les " *climats d'altitude;* " et à ce propos on s'est demandé, avec raison, quelle était l'influence de l'atmosphère des montagnes sur la circulation pulmonaire. On a généralement admis que *l'air raréfié attirait le sang vers la périphérie du corps;* et, selon que l'on a rangé les poumons parmi les organes périphériques ou parmi les organes centraux, on a conclu à la congestion ou à la décongestion de l'appareil pulmonaire au milieu d'une atmosphère à faible pression.

La question, qui est donc loin d'être résolue, mérite d'être reprise, parce que les raisons que l'on a fait valoir, à l'appui de ces diverses opinions, n'ont pas encore été suffisamment vérifiées ou confirmées, ni par les considérations théoriques, ni par l'expérimentation. Il est cependant de toute néces-

sité d'être fixé à cet égard ; et il importe, nous semble-t-il, si l'on veut instituer des traitements rationnels, de rechercher préalablement par les procédés physiologiques, les principes fondamentaux qui doivent servir de base au médecin, lorsqu'il se propose de prescrire le séjour dans les atmosphères à basse pression.

Nous nous déclarerons largement satisfait si nous parvenons, non pas à élucider complètement le problème qui est très complexe, mais à hâter au moins sa solution définitive, laquelle sera incontestablement d'une grande importance en thérapeutique.

Parmi les auteurs qui se sont le plus occupés des cures d'altitudes, nous devons citer en toute première ligne M. Jaccoud, qui a publié, il y a deux années à peine, un travail très remarquable sur le traitement de la phtisie pulmonaire, et en particulier sur l'action et l'utilité pratique de l'air des montagnes dans les affections des voies respiratoires [1]. Ce livre résume d'une manière assez complète tout ce qui a été dit à ce sujet jusqu'à ce jour et il représente, en définitive, très exactement l'état actuel de la question. Nous ne saurions donc mieux faire, pensons-nous, que de puiser dans l'œuvre même de M. Jaccoud et de mettre sous les yeux du lecteur ses idées principales, celles que nous aurons à examiner ici ; cela nous permettra d'ailleurs d'exposer nos propres vues.

Pages 351-352 nous lisons ceci :

(1) Jaccoud. Curabilité et traitement de la phtisie pulmonaire. Paris, 1881.

“ L'abaissement de la pression atmosphérique, aux alti-
” tudes indiquées (de 1500 à 2,000 mètres), détermine ordinai-
” rement une certaine accélération des battements du cœur,
” mais cet effet, lorsqu'il a lieu, est temporaire ; il s'efface au
” bout d'un petit nombre de jours. *Chez tous les individus*,
” en revanche, et PENDANT TOUTE LA DURÉE DU SÉJOUR,
” la circulation dans son ensemble est notablement modifiée
” en ce sens qu'*il se fait à la périphérie un puissant afflux*
” *sanguin :* les capillaires cutanés sont turgescents, et les
” téguments prennent une couleur d'un rouge violet que
” l'on retrouve sur les muqueuses supérieures, notamment
” sur celles de la bouche et de la langue ; après quelques
” semaines, la prédominance de la circulation périphérique
” produit une pigmentation plus forte de la peau.

” ..... Dans quelques cas, plus rares qu'on ne le supposerait,
” *à priori*, de légères épistaxis témoignent aussi du change-
” ment survenu dans la répartition du sang.

” *L'appel incessant du sang à la périphérie* maintient
” les viscères dans un état d'anémie relative, lequel, en raison
” de son faible degré, ne se révèle que par des phénomènes
” favorables. ”

Plus loin, page 354 :

“ J'ai déjà noté, parmi les effets d'altitude, la diminution de
” la charge sanguine des viscères au profit de la périphérie :
” eh bien ! *cette anémie relative, à laquelle participent les*
” *poumons* comme les autres organes profonds, ajoute puis-
” samment à l'heureuse influence de la suractivité respira-
” toire..... ”

Après avoir émis l'opinion que l'air raréfié empêche ou arrête les hémorragies pulmonaires, M. Jaccoud continue :

“ Ces résultats de l'observation pouvaient être prévus, ” car les hypothèses que je combats n'ont d'autre base qu'une ” interprétation erronée des effets de l'altitude sur la ” circulation du sang. On part d'un fait vrai, l'*afflux du* ” *sang à la périphérie et aux extrémités* (1), mais on commet ” la faute de ranger les poumons parmi les organes péri- ” phériques, et de cet afflux présumé on induit la provocation ” hémorragipare. Or, l'expérience a démontré que dans la ” *répartition circulatoire spéciale* que créent les dépressions ” barométriques, *les poumons doivent être assimilés aux* ” *organes profonds*, et participent à leur état d'anémie ” relative..... ”

En résumé donc, M. Jaccoud s'appuie sur deux principes fondamentaux pour préconiser le séjour dans les montagnes élevées :

1° Les poumons sont des organes centraux ;

2° Pendant la respiration normale dans un milieu à faible pression, le sang se trouve *continuellement attiré* à la périphérie au détriment des organes centraux parmi lesquels les poumons.

Il est remarquable que M. Jaccoud se contente d'affirmer ces deux propositions sans essayer de les démontrer ni même de les discuter. Elles sont cependant d'une importance capi-

(1) On voit que M. Jaccoud ne suppose même pas que l'on puisse discuter cette première affirmation. C'est pour ce motif qu'il considère les poumons comme des *organes profonds*.

tale dans le sujet qui l'occupe et ne nous paraissent pas évidentes par elles-mêmes.

Avant d'entrer dans le fond même de la question, il y a deux objections assez sérieuses, nous semble-t-il, à faire à la théorie que nous venons de signaler :

1° Pourquoi le sang serait-il attiré *d'une manière constante* vers la périphérie plutôt à la pression de 640^{mm} qu'à celle de 760^{mm} de mercure? Si l'on disait que, lorsqu'un homme vivant habituellement à la pression 760 passe à celle de 640, le sang est *momentanément* attiré vers la périphérie par suite de la grande diminution de pression, nous considérerions cette affirmation comme pouvant être, *à priori*, motivée avec plus ou moins de raison. Mais ce n'est pas ici le cas. Dire que l'homme qui se trouve à 1500 mètres au-dessus du niveau de la mer a constamment la périphérie congestionnée, c'est affirmer qu'il est fait pour vivre à 760^{mm} de pression, et non pas pour vivre à 640^{mm}. Nous voyons cependant, au Mexique et dans beaucoup d'autres régions, des populations très denses et très nombreuses vivre sans accident ni souffrance à des hauteurs de 4,000 mètres au-dessus du niveau de la mer. L'organisme se plie aux exigences qui résultent de cette faible pression barométrique, et personne ne supposera que les habitants des Cordillières aient habituellement la périphérie congestionnée.

2° Sur quelle expérience, sur quel principe de physique ou de physiologie, M. Jaccoud s'appuie-t-il pour croire et pour dire que le sang se porte continuellement à la péri-

phérie lorsque la pression barométrique est inférieure à 760^{mm} de mercure?

M. Jaccoud nous le laisse ignorer, et cependant notre profond respect pour ce savant médecin ne suffit pas à nous faire partager sa conviction ; en cherchant à nous convaincre, nous constatons au contraire que les seules lois physiques que l'on puisse invoquer ici prouvent absolument le contraire de ce qu'avance M. Jaccoud.

—

Le premier point sur lequel nous appelons l'attention du lecteur, c'est qu'il ne faut pas confondre dans un seul et même mode d'action l'effet produit par l'*ascension* dans les montagnes et celui qui résulte du *séjour* plus ou moins prolongé dans des régions élevées, mais à *pression constante* [1].

Pour nous, le mécanisme de ces deux actions est absolument distinct, et par conséquent leur résultat sur l'économie est aussi tout différent.

Si nous supposons d'abord un homme vivant habituellement dans les montagnes, au milieu d'une atmosphère de 700 millimètres de pression par exemple, il est évident que ses vaisseaux périphériques supportent une pression moindre qu'au niveau de la mer, de 60 millimètres de mercure environ.

(1) En disant à *pression constante*, nous faisons abstraction évidemment des variations barométriques quotidiennes, qui sont très faibles à côté des grands écarts dont il est question dans une ascension de montagnes assez élevées.

Quand nous disons les vaisseaux périphériques, nous nous expliquons : nous n'entendons nullement appliquer cette dénomination aux vaisseaux cutanés seuls ; nous appelons *vaisseaux périphériques* tous ceux qui sont en contact direct avec l'atmosphère extérieure ; nous y comprenons donc autant les vaisseaux pulmonaires que les vaisseaux cutanés. Bien plus, s'il est un organe selon nous essentiellement périphérique, non par sa situation, mais par ses rapports intimes et incessants avec l'atmosphère, c'est l'organe de la respiration. Aucun autre appareil n'est aussi sensible que lui aux actions de l'air ambiant ; les membranes épithéliales qui séparent les vaisseaux de l'extérieur étant assez ténues et délicates pour permettre un échange gazeux continuel et rapide à travers leur épaisseur, il faut admettre qu'elles n'offrent qu'une mince résistance aux pressions extérieures et que, conséquemment, les influences mécaniques dépendant de l'air atmosphérique agissent avec la plus grande facilité et directement sur les vaisseaux pulmonaires.

Il en est identiquement de même pour les vaisseaux cutanés, avec cette seule distinction que la peau étant plus épaisse, plus résistante que l'épithélium alvéolaire, l'influence de la pression est un peu moins directe, moins immédiate que pour les vaisseaux pulmonaires.

On ne saurait donc classer séparément ces deux ordres de vaisseaux ; ils sont soumis simultanément aux mêmes modifications atmosphériques, ils subissent les changements de pression au même instant, et rien ne justifie la manière de

voir de M. Jaccoud reléguant les poumons parmi les organes centraux. D'ailleurs cette classification est basée sur une simple présomption, sans qu'elle soit motivée ou démontrée par quoi que ce soit.

Nous supposions des vaisseaux périphériques (cutanés et pulmonaires) supportant une pression de 60^{mm} de Hg environ plus faible qu'au niveau de la mer. Qu'adviendra-t-il aux vaisseaux profonds (et ici nous appelons vaisseaux profonds, ceux qui sont répandus par tout le corps, dans l'intérieur même des tissus ou des organes, et non en contact direct avec l'air extérieur)? — Pour répondre à cette question, remarquons que le corps humain n'est pas composé d'une substance solide, imperméable, à parois non élastiques et rigides, incapables de se laisser traverser par les éléments extérieurs; mais bien au contraire par un ensemble de matériaux parfaitement élastiques et perméables, parmi lesquels les fluides gazeux et liquides occupent la plus large part. Il en résulte que les vaisseaux profonds, plongés au milieu de ces tissus, ne sont nullement protégés par eux contre les pressions extérieures, comme ils le seraient si le corps était entouré d'une enveloppe non poreuse et très résistante ; ils supportent par propagation et par absorption gazeuse et liquide les pressions qui s'exercent à la surface du corps, et ainsi la pression que reçoivent les vaisseaux profonds est égale à la pression atmosphérique.

Le fait que nous avançons ici est basé sur la loi physique qui régit la force élastique des gaz et des liquides et par laquelle il est démontré : *qu'un gaz ou un liquide exerce tou-*

jours, et en tous sens, une pression égale à celle qu'il reçoit. Ainsi les fluides contenus dans l'économie, recevant par la peau la pression atmosphérique, exercent nécessairement à leur tour une pression égale et contraire, et les vaisseaux profonds finissent par supporter la même pression que les vaisseaux périphériques.

D'ailleurs il est inadmissible que des gaz contenus à l'intérieur de membranes vivantes et perméables, puissent rester indéfiniment à une pression différente de celle qui s'exerce à l'extérieur de ces mêmes membranes ; un moment doit arriver où ces pressions s'équilibrent.

Dès lors, si tout l'arbre circulatoire reçoit des pressions égales (sauf les écarts successifs qui s'exercent sur les vaisseaux pulmonaires pendant la respiration, mais qui sont exclusivement produits par les mouvements thoraciques), comment pourrait-il y avoir un déplacement constant et spécial de la masse sanguine ne dépendant pas même de la pression propre du sang ? Comment pourrait-il y avoir appel continuel de sang vers telle ou telle région alors que la pression qui agit sur les parois vasculaires est partout identique ?

En somme donc, nous disons que la pression qui s'exerce à la périphérie se transmet avec une intensité égale, d'après le principe de physique déjà énoncé, dans toutes les parties de l'économie ; soit directement par les gaz ou les liquides qui entrent dans sa composition, soit indirectement par les gaz de la respiration pulmonaire, ou par ceux de la perspiration cutanée, soit enfin par les gaz intestinaux ; de telle

façon que les vaisseaux sanguins profonds recevant dans tous les sens une pression identique à la pression extérieure, il ne saurait y avoir d'aspiration d'aucun côté. — Il y a donc en réalité diminution de pression sur le système vasculaire sanguin tout entier, mais cette diminution est partout la même, et elle ne trouble nullement la répartition physiologique et normale du sang.

—

On pourrait se demander maintenant si cette diminution de pression, s'exerçant sur tout le système vasculaire sanguin à la fois, n'est pas de nature à provoquer soit une dilatation des gaz du sang, soit une augmentation du volume total du sang lui même. A ces deux questions nous répondons sans aucune réserve par la négative.

Et, en effet, les gaz du sang se trouvent dans ce liquide à l'état de solution; en d'autres termes, ils ont perdu les propriétés essentielles des corps gazeux, qui sont précisément la dilatabilité et la compressibilité. Ils n'ont aucune pression propre, ils font partie intégrante du liquide sanguin et ne sauraient ni subir ni exercer aucune influence spéciale aux gaz, sans qu'il se produise des phénomènes absolument contraires aux lois physiologiques. — On ne doit pas oublier que les gaz du sang ne circulent pas dans les vaisseaux à l'état de liberté, sous forme de globules, mais bien dissous ou combinés, c'est-à-dire comme liquides eux-mêmes. Il est donc de toute impossibilité qu'ils se dilatent en tant que gaz par la diminution de pression.

Quant au liquide sanguin, rigoureusement il se dilate par une diminution notable de pression; mais le coefficient de dilatation des liquides étant excessivement peu élevé ($^1/_{40,000}$ environ), cette quantité est absolument insignifiante et négligeable. Il ne se produit donc aucun phénomène spécial sur le sang ou les gaz qui y sont dissous par la diminution de pression, si ce n'est que plus la pression extérieure sera faible et plus facile sera le dégagement gazeux à la surface pulmonaire.

—

En résumé, nous avons vu que, *pendant le séjour* dans l'air raréfié, il ne saurait se produire aucun appel de la masse sanguine, de l'un ou de l'autre côté; la répartition du sang est normale et il n'y a pas plus de congestion des organes périphériques chez l'habitant des montagnes qu'il n'y en a chez l'habitant des plaines.

Voyons maintenant ce qui se passe *pendant l'ascension*, c'est-à-dire aussi longtemps que l'on s'élève dans des couches d'air de plus en plus raréfiées. Ici les phénomènes ne sont plus tout à fait les mêmes.

En effet, nous avons vu tout à l'heure que, pendant le séjour dans une atmosphère quelconque, la pression extérieure finissait par se transmettre vers les parties profondes de l'économie de telle façon que les vaisseaux de ces régions supportaient la même pression que les vaisseaux périphériques. Mais cette transmission peut-elle se faire instantanément? Évidemment non! Il faut un certain temps pour que

la pression ambiante se propage, soit par voisinage, soit par l'intermédiaire des gaz de la respiration, jusqu'aux organes centraux, et pour que les gaz qui finissent par se trouver en excès à l'intérieur de l'économie puissent se dégager. Quel est le temps nécessaire à l'accomplissement de ces phénomènes? Nous ne saurions le dire, mais tout nous porte à croire qu'il ne doit pas être excessivement long, surtout pour les hommes bien constitués, puisque chez ces derniers les accidents sont assez rares même dans des ascensions élevées et rapides.

Quoi qu'il en soit, cet intervalle existe nécessairement, et il nous paraît intéressant d'examiner comment se comporte la circulation du sang dans cette nouvelle hypothèse.

Les vaisseaux pulmonaires et cutanés sont les premiers à subir l'influence de la pression nouvelle à laquelle tout l'organisme est exposé (1); avant que les vaisseaux profonds viennent à supporter à leur tour la pression atmosphérique que reçoivent directement les vaisseaux périphériques, ils sont encore soumis à une pression légèrement plus forte, celle des couches d'air situées plus bas; et cela sans interruption jusqu'à ce que l'organisme séjournant enfin à un niveau constant, l'équilibre puisse s'établir partout de la manière que nous avons décrite plus haut.

Pendant toute la durée de l'ascension, les vaisseaux profonds supportent donc une pression plus forte que les vaisseaux périphériques. — Il doit en conséquence y avoir un

(1) Ceci prouve une fois de plus combien ces deux ordres de vaisseaux appartiennent physiologiquement au même groupe.

appel de sang vers ces régions où la pression est la plus faible, et il se produit naturellement une tendance continuelle à la congestion de la peau des muqueuses supérieures et des poumons. — C'est ainsi que l'on peut expliquer ces épistaxis, ces hémorragies par les muqueuses buccales ou par les conjonctives que l'on a souvent remarquées, dans les ascensions élevées, et qui sont cependant très rares chez les habitants des montagnes, parce qu'ils vivent généralement à des hauteurs presque invariables.

Que résulte-t-il de ce qui précède ? Que la tendance à la congestion périphérique sera d'autant plus intense que l'ascension sera plus rapide, ou, si l'on aime mieux, que l'organisme disposera de moins de temps pour se débarrasser des gaz qu'il aura en excès et rétablir cet équilibre de pression nécessaire à son fonctionnement normal et régulier. — Supposons une ascension se faisant très lentement ; les phénomènes d'échanges gazeux et d'équilibre de pression auront tout le temps de se produire, et aucun phénomène anormal ne sera à craindre. — Supposons au contraire un homme passant brusquement, et sans aucune transition, d'une pression à une autre beaucoup plus faible, il se produira sur toute la périphérie le même effet que si on le soumettait à l'action d'une puissante machine pneumatique, et les gaz intérieurs n'ayant pas le temps de se dégager, il y aurait une véritable projection de tous les liquides vers les surfaces cutanée et pulmonaire, d'où hémorragies certaines, soit par les muqueuses des voies respiratoires, soit même par la peau, etc.

Ceci explique en partie comment on a pu si souvent comparer l'effet des atmosphères raréfiées à celui d'une ventouse. Cette action ne se produit imparfaitement que *pendant la durée de l'ascension*, c'est-à-dire aussi longtemps que la pression intérieure n'est pas égale à la pression extérieure. On sait, en effet, que l'application d'une ventouse a pour but un déplacement de sang provoqué par des pressions inégales s'exerçant sur les vaisseaux sanguins en différents points de l'économie. En diminuant la pression sur une portion déterminée de vaisseaux sanguins, et en laissant la pression ordinaire, plus forte, s'exercer sur toutes les autres régions, il y a un appel mécanique du liquide sanguin vers la surface supportant la pression la plus faible. Il en est de même dans l'air raréfié aussi longtemps que la pression intérieure est plus intense que la pression extérieure. — Mais, comme nous l'avons montré antérieurement, dès que l'on séjourne à un niveau constant, cette différence ne saurait persister, grâce surtout aux échanges gazeux incessants résultant des mouvements respiratoires. — Dès lors, il n'y a plus d'effet de ventouse et la répartition du sang dans l'économie revient à ce qu'elle était primitivement.

—

Telles sont les idées que nous avait suggérées la lecture du travail de M. Jaccoud déjà cité. Nous ne nous en sommes pas tenu à ces considérations théoriques ; nous avons voulu vérifier par l'expérimentation si réellement les choses se passaient comme nous le supposions, et nous sommes allé à

une hauteur de 750 mètres répéter les expériences que nous avions faites précédemment au laboratoire de physiologie de l'Université de Bruxelles ([1]). — Le lecteur a pu voir dans notre chapitre Ier que la moyenne de nos observations nous a donné pour les quantités de sang contenues dans les poumons à 760 millimètres de pression : $^1/_{18}$ de la masse totale du sang à l'expiration et $^1/_{12}$ à $^1/_{13}$ à l'inspiration. Par conséquent il nous a été possible d'apprécier directement si la diminution de pression provoquait une diminution de la quantité de sang contenue dans l'appareil pulmonaire ; pour cela, il nous suffisait de reproduire soigneusement les conditions dans lesquelles nous avions fait nos premières expériences, de manière à entourer nos résultats de toutes les garanties désirables.

Pour atteindre ce but, nous nous sommes procuré des animaux vivant dans la plaine à la pression moyenne de 760 millimètres ; nous les avons fait transporter sur le plateau que nous avions choisi à cet effet, et après 24 heures de séjour pour la première et 48 heures pour la seconde nous avons fait les expériences dont voici les protocoles :

21 août 1882. — Expérience I. — *Poumons en inspiration.*

État de l'atmosphère au moment de l'expérience (3 heures après-midi). { Température 16°, 2.
Pression barométrique 698mm, 05 (au baromètre de Fortin).

(1) Nous tenons à exprimer ici notre plus vive reconnaissance à M. le docteur Jacquet (alors interne à l'hôpital Saint-Pierre), lequel a bien voulu nous prêter son concours le plus dévoué et le plus intelligent pour mener à bien cette excursion scientifique, qui n'a pas manqué de présenter certaines difficultés.

Lapin pesant 1422 grammes. Après avoir retiré un centimètre cube de sang à la carotide gauche, nous passons le fil à ligature derrière les vaisseaux du cœur d'après le procédé décrit, et l'opération est achevée, sans encombre, de la manière accoutumée.

Voici les résultats obtenus :

Poids de l'animal	1422 gr.
Résidus digestifs	122 gr.
Quantité de sang dans la totalité du corps	65 c. c.
Quantité de sang trouvée dans les poumons	4,8 c. c.
Rapport de cette quantité à la masse totale	$^1/_{13}$
Poids de l'animal exsangue et abstraction faite des résidus digestifs	1235 gr.
Poids des poumons dépourvus de sang	6,2 gr.
Rapport de cette quantité au poids de l'animal exsangue.	$^1/_{199}$
Capacité sanguine des poumons.	14

22 août 1882. — Expérience II. — *Poumons en expiration.*

État de l'atmosphère au moment de l'expérience (3 heures après-midi).	Température 13°,1. Pression barométrique 690mm (au baromètre de Fortin).

Poids de l'animal	1570 gr.
Résidus digestifs	130 gr.
Quantité de sang dans la totalité du corps	72 c. c.
Quantité de sang trouvée dans les poumons	3,7 c. c.
Rapport de cette quantité à la masse totale	$^1/_{18}$
Poids de l'animal exsangue et abstraction faite des résidus digestifs	1368 gr.
Poids des poumons dépourvus de sang	7,3 gr.
Rapport de cette quantité au poids de l'animal exsangue.	$^1/_{187}$
Capacité sanguine des poumons.	9

Cette expérience n'a présenté rien de particulier.

Tels sont les résultats obtenus à une hauteur de 750 mètres avec une diminution de pression d'environ 7 centimètres de mercure, ce qui constitue un écart d'une certaine importance. On peut voir, en consultant les deux tableaux ci-dessus, que les quantités et les rapports sont mathématiquement semblables à ceux qui nous avaient été fournis au laboratoire.

Les poumons en inspiration dans la 1re expérience renfermaient le $^1/_{13}$ de la masse totale du sang et avaient une capacité sanguine représentée par le nombre 14. Les moyennes correspondantes des expériences faites antérieurement ont été respectivement de $^1/_{13}$ et de 13.

Les poumons en expiration dans la 2e expérience ont donné le $^1/_{18}$ de la masse totale et leur capacité sanguine a été représentée par 9. Ce sont exactement les moyennes des expériences précédentes.

—

CONCLUSION

Ainsi se trouve confirmée expérimentalement la théorie que nous avons émise, et qui consiste à admettre ces deux faits :

1° *Pendant le séjour* dans les atmosphères raréfiées, la répartition du sang est *physiologique*, et par conséquent la même qu'à la pression du niveau de la mer (760^{mm} de Hg);

2° *Pendant l'ascension*, au contraire, la répartition ne saurait être physiologique. Il se fait une véritable attraction ou succion vers la périphérie et ainsi il y a tendance à la congestion de la peau, des muqueuses supérieures et des poumons aussi longtemps que l'on continue à s'élever.

Toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire abstraction faite de l'état de santé ou de maladie du sujet, de son tempérament ou de sa constitution, on pourrait ajouter que cette tendance à la congestion périphérique sera d'autant plus prononcée que *l'ascension sera plus rapide et qu'elle durera plus longtemps*, comme nous l'avons déjà montré.

Quant aux différents phénomènes anormaux qui peuvent se passer dans l'appareil respiratoire chez les phtisiques lorsqu'ils gravissent des montagnes élevées, ce n'est évidemment pas le lieu ici de les examiner. Cependant de ce qui précède nous pouvons, sans sortir du cadre que nous nous sommes tracé, déduire quelques conséquences pratiques d'une certaine importance.

Il y a lieu tout d'abord, nous semble-t-il, de tenir compte de la prédisposition possible aux congestions pulmonaires et aux hémoptysies. Ensuite, pour ce qui concerne plus spécialement notre sujet, lorsqu'on aura décidé de soumettre aux atmosphères raréfiées un malade ATTEINT D'UNE AFFECTION DE POITRINE et chez lequel les poumons constituent l'organe le plus sensible, il faudra user de la plus grande circonspection dans le choix du lieu, et donner les indications les plus formelles et les plus précises sur la façon d'accomplir le voyage (son itinéraire, sa durée, etc.), de manière à éviter des

imprudences qui pourraient être très préjudiciables au patient. Nous ne sommes pas d'avis que l'on puisse sans inconvénient lui faire opérer des ascensions *rapides;* cela pourrait lui être très favorable si en réalité, comme le prétend M. Jaccoud, les poumons étaient des organes centraux et si la peau seule était congestionnée dans les milieux à faible pression.

Pour nous, au contraire, il nous paraît toujours imprudent d'envoyer des phtisiques, en une seule étape, sur des plateaux élevés comme la haute Engadine, par exemple : à moins de circonstances spéciales, il ne se produira probablement pas d'accidents pendant le séjour lui-même ; ce qui sera à craindre ce sont les effets de l'ascension, lesquels pourront se faire sentir pendant le voyage ou peu de temps après.

Il nous paraît donc plus rationnel d'appliquer ce mode de traitement de la manière accoutumée pour tous les autres agents thérapeutiques, c'est-à-dire en procédant par transitions. Envoyer directement un phtisique habitant la plaine, à des hauteurs de deux mille mètres et au delà, c'est, à notre avis, lui administrer d'emblée un médicament à sa dose maxima, sans se préoccuper des accidents que celui-ci pourra provoquer. On ne procède généralement pas ainsi en thérapeutique. Il est indispensable de tâter d'abord les prédispositions du malade, surtout pour un moyen aussi énergique; ensuite on n'agit pas impunément par secousses violentes sur un organisme essentiellement débilité, et qui exige au contraire les plus grandes précautions dans l'application de tous les traitements auxquels on le soumet.

Pour résumer ce qui précède, nous admettons que *pendant l'ascension* les poumons se congestionnent plus ou moins, selon les prédispositions de chacun; mais, en tout état de cause, que la congestion sera d'autant plus prononcée que l'ascension aura été plus rapide et que la hauteur à laquelle on se sera élevé sera plus grande.

Pour ce qui concerne les malades *atteints d'affections de poitrine*, nous croyons indispensable de procéder avec la plus grande circonspection dans l'emploi des atmosphères raréfiées; et il nous paraît plus rationnel de les soumettre préalablement à des hauteurs moyennes de 5 à 700 mètres au plus, en tenant compte des résultats acquis à ce niveau. Il est toujours facile au médecin d'apprécier les effets produits par une première tentative; alors seulement il lui est vraiment possible de décider, dans l'intérêt du malade, s'il faut ou non tenter une ascension plus élevée.

NOTES

—

Nous avons visité quelques stations sanitaires situées dans les pays de montagnes, et dont le but principal est le traitement de la phtisie pulmonaire (*Falkenstein* dans le Taunus; *Samaden*, *Pontresina*, *Saint-Moritz* dans la Haute-Engadine; *Davos* dans le canton des Grisons).

Nous avons ainsi pu vérifier sur place l'opinion que nous nous étions faite de l'influence de la pression barométrique. Nous avons exposé nos idées à plusieurs médecins pratiquant dans ces diverses localités (MM. Beely, Dettweiler, H. Lùdwig), et nous devons déclarer que tous ont confirmé les principes que nous avons émis dans le chapitre précédent.

Pour ces praticiens qui ont constamment l'occasion d'étudier la question qui nous occupe en ce moment, c'est-à-dire l'action de l'air des montagnes, les effets curatifs qu'ils observent ne doivent pas tant être attribués à une action mécanique spéciale de la pression atmosphérique sur la circulation qu'aux autres influences générales, telles que la *pureté de l'air*, son *état hygrométrique* particulier, la *constance de la température*, etc., etc. La hauteur au-dessus du niveau de la mer, seule, ne suffit donc nullement d'après eux pour l'établissement d'un sanatorium : l'*exposition*, le *climat*, la *situation géographique*, la *direction des vents*, voilà les facteurs les plus importants dont il faut tout d'abord tenir compte dans une pareille détermination.

Et en effet, si l'action bienfaisante de certaines contrées comme la vallée de Davos (située à 1560 mètres) dépendait simplement de phénomènes mécaniques s'exerçant sur la circulation pulmonaire, comment expliquerait-on les heureux résultats constatés également dans d'autres localités atteignant à peine une élévation de 500 à 600 mètres? Et pourquoi la plupart des plateaux suisses s'élevant à 1600 mètres environ (comme Davos) seraient-ils totalement inhabitables en hiver, tout au moins pour les malades? (1)

Est-ce à dire que la raréfaction de l'air, considérée isolément, ne doive en aucune façon être comptée au nombre des facteurs agissant dans les climats d'altitude? — Loin de nous cette pensée; il est tout à fait hors de doute aujourd'hui, comme le confirment du reste les travaux de plusieurs praticiens distingués (2), que les grandes altitudes produisent des effets mécaniques bien déterminés, notamment sur l'*évaporation pulmonaire* et sur les *mouvements respiratoires*; et certes ce sont là des influences dignes d'être notées.

Mais ces actions sont toutes différentes de celles qui se feraient spécialement sentir, et d'une manière *permanente*, selon la théorie de M. Jaccoud, sur la circulation pulmonaire; et quant à nous, les nombreuses influences climatériques et autres que nous venons de signaler rapidement nous paraissent bien suffisantes pour expliquer les résultats constatés jusqu'ici par le séjour dans les stations de montagnes, sans pour cela avoir recours à des modifications profondes aux lois physiologiques réglant les phénomènes de la circulation du sang.

(1) On sait qu'au contraire Davos est spécialement une station d'hiver; les malades y arrivent généralement en septembre ou octobre, et quittent la vallée vers le mois d'avril.

(2) D. Jourdanet. Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme. Paris, 1876.

Paul Bert. La pression barométrique. Paris, 1878.

E. Dufresne. Une station d'hiver pour les phtisiques dans les Hautes-Alpes. Neuchâtel, 1879.

H. Picard. La vallée de Davos. In Progrès médical. Mai, 1882.

C.-T. Williams. The Treatment of Phtisis by Residence at High Altitudes. In Transactions of the international medical congress. London, 1881. Vol. II, pp. 164 et 184.

Hermann Weber, Wilson Fox, Alan Herbert, Norman Chevers. Même recueil, pages 182 et suivantes.

CHAPITRE III

EXPÉRIENCES SUR L'ENCÉPHALE

Nous examinerons dans ce chapitre la répartition du sang circulant dans l'encéphale, à l'état de veille et à l'état de sommeil, et nous tâcherons d'éclaircir cette question, qui, quoique depuis fort longtemps étudiée, est encore très controversée aujourd'hui. Les uns croient, en effet, que le cerveau renferme plus de sang pendant le sommeil que pendant la veille; les autres prétendent le contraire : mais personne jusqu'ici n'a cherché à résoudre directement le problème. Béclard dit avec raison (1) : " On attribue la cause du sommeil à une congestion sanguine du cerveau, *mais on ne l'a jamais prouvé.*" Beaunis (2) de son côté, parlant des causes du sommeil, nous dit : "...Faut-il invoquer la circulation cérébrale, l'*anémie suivant les uns, la congestion suivant les autres ?...* "

(1) Béclard. Éléments de Physiologie, page 1092.
(2) Beaunis. Loco citato, page 1032.

On s'est beaucoup préoccupé, depuis quelques années, de rechercher la *cause intime* du sommeil chez l'homme et chez les animaux, et cependant on a négligé de préciser d'abord expérimentalement les conditions dans lesquelles se trouve la circulation encéphalique pendant cet état physiologique. Pénétrer jusque dans ses causes le mécanisme du sommeil est une tâche inabordable dans l'état actuel de nos connaissances sur les fonctions du cerveau ; mais peut-être pourra-t-il être utile de déterminer ce qui le distingue, tout au moins pour ce qui concerne la distribution du sang.

Et en effet, comment pourrait-on concevoir le mécanisme du sommeil si l'on ne commence pas, au préalable, par fixer quelle est à ce moment la répartition des éléments variables qui entrent dans la composition du centre nerveux encéphalique? Avant d'émettre une hypothèse quelconque sur un sujet aussi délicat, il est évidemment indispensable de posséder comme points de départ, des faits absolument certains et prouvés. Or, parmi ces derniers, l'un des plus nécessaires à la solution du problème, à notre avis, c'est l'état de l'appareil circulatoire dans les organes intra-crâniens.

Non pas que nous croyions que la répartition du sang dans l'encéphale constitue le seul point à examiner, ou qu'elle soit la *cause déterminante* des phénomènes qui caractérisent le sommeil et la veille ; mais nous pensons qu'elle intervient aussi activement dans l'évolution naturelle des fonctions physiologiques du cerveau que dans celle des autres organes, et il nous semble, en conséquence, qu'il est de toute nécessité de terminer cette question avant de pour-

suivre d'autres recherches qui ont été entreprises dans ces derniers temps.

De plus, la connaissance bien établie des modifications dont est susceptible la circulation encéphalique serait peut-être d'un puissant secours dans l'étude des fonctions générales ou spéciales de cet appareil important.

Est-il nécessaire enfin de faire remarquer combien l'éclaircissement de la question que nous abordons, contribuerait à expliquer le mode d'action des substances narcotiques ou anesthésiques, dont les effets, nous devons le reconnaître, sont encore bien incomplètement connus actuellement ?

§ 1er. — Historique

Les plus anciens auteurs (Lemure, Schlichting, 1750, de Lorry, 1760, de Ravina, 1811, de Jodin et Magendie) qui ont étudié expérimentalement la circulation cérébrale, ont déjà remarqué les variations de volume du cerveau, et les ont attribuées généralement à la quantité plus ou moins grande de sang répandue dans cet organe. Aucun d'eux cependant n'a cherché à établir les rapports qui pourraient exister entre ces mouvements et l'état de veille ou de sommeil du sujet en expérience. Quelques auteurs moins éloignés (Donders, 1854, Ehrmann, Küssmaùl et Tenner) ont fait les mêmes remarques et sont restés dans les mêmes généralités.

Ces premiers observateurs ne se sont donc nullement préoccupés de la question qui se débat actuellement ; mais au moins il est permis de dire que ce sont leurs travaux qui l'ont

préparée, et c'est à ce titre que nous avons cru devoir les signaler ici.

Empressons-nous cependant d'ajouter que, malgré cette absence de recherches ou d'études spéciales, une opinion était généralement admise : c'est que le cerveau renfermait plus de sang pendant le sommeil que pendant la veille. Peut-être cette opinion avait-elle pour point de départ l'état des pupilles; l'orifice pupillaire est rétréci, comme on le sait, dans le sommeil comme dans la congestion cérébrale.

Ce n'est guère que dans ces dernières années que la question a été nettement posée, et déjà dans ce court espace de temps un grand nombre de physiologistes se sont mêlés au débat.

Tous ceux qui ont entrepris, soit directement, soit indirectement, de résoudre le problème peuvent être rangés en deux groupes :

1° Ceux qui admettent que pendant le sommeil le cerveau est anémié ;

2° Ceux qui pensent, au contraire, que pendant le sommeil le cerveau est congestionné.

La seconde hypothèse est, comme nous venons de le voir, la plus ancienne ; en 1860 pour la première fois, elle fut vivement combattue par l'Anglais Durham, et on la croyait définitivement rejetée, lorsque dans ces derniers temps, en 1874, elle a été reprise et très chaudement défendue par de nouveaux adeptes (Langlet).

Afin de bien nous rendre compte de la valeur des arguments formulés pour ou contre chacune de ces deux théo-

ries, nous passerons méthodiquement en revue les principaux travaux sur lesquels elles sont basées; nous donnerons ultérieurement les résultats que nous ont fournis nos recherches personnelles.

A. Le cerveau est anémié pendant le sommeil.

Quatre procédés d'expérimentation ont été employés : nous les examinerons dans l'ordre même où ils se sont produits.

I. — Quelques physiologistes ont d'abord essayé de surprendre expérimentalement, sur les animaux, *l'état des vaisseaux* de l'encéphale à divers moments.

Durham (1) le premier a appliqué ce procédé d'exploration à la recherche des modifications de la circulation cérébrale pendant le sommeil. Pour cela, il pratiquait une couronne de trépan chez des chiens, et observait directement les différences de vascularisation du cerveau correspondant à la veille et au sommeil. Après de nombreuses expériences il a émis les conclusions suivantes, qui allaient tout à fait à l'encontre des opinions admises à cette époque :

“ 1° La pression des veines sur le cerveau, par distension, ” n'est pas la cause du sommeil, car durant cet état les veines ” ne sont pas distendues ; et, lorsqu'elles le sont, il survient ” des symptômes et un aspect du cerveau qui diffèrent de ” ceux qui caractérisent le sommeil. ”

(1) Durham (A.). The Physiology of Sleep. In Guy's Hospital Reports, t. VI, p. 148-73, 1860.

" 2° Pendant le sommeil le cerveau est dans un état " d'anémie relative, et le sang contenu dans les vaisseaux " encéphaliques n'est pas seulement diminué en quantité, " mais aussi il circule moins rapidement. "... etc.

D'autres auteurs, parmi lesquels nous citerons Claude-Bernard (1), Hammond, Regnard (2), Ernest Samson (3), Weir Mitchell, ont répété les expériences de Durham, et leurs résultats ont pleinement confirmé ceux de ce dernier.

II. — Un peu plus tard des observateurs ont eu l'heureuse idée de tirer parti de certaines conditions pathologiques, telles que la perte d'une portion de la voûte crânienne, pour examiner *les mouvements d'expansion* du cerveau soit pendant le sommeil, soit dans d'autres circonstances.

Caldwell (4) cite le cas d'une femme se trouvant dans les conditions indiquées ci-dessus, dont " le cerveau restait dans " le crâne presque sans mouvement quand elle dormait d'un " profond sommeil. Lorsqu'elle rêvait il s'élevait, et, lorsque " ses rêves (qu'elle racontait au réveil) étaient intéressants " ou précis, le cerveau faisait saillie à travers l'ouverture " du crâne. "

Blümenbach (5) a noté chez un malade " l'affaissement du " cerveau pendant le sommeil et l'expansion avec turgescence " sanguine lorsque le malade se réveillait. "

(1) Claude-Bernard. Leçons sur les anesthésiques (Revue des cours scientifiques, 1869).

(2) Regnard. De la congestion cérébrale, thèse. Strasbourg, 1868.

(3) Samson (E.-A.). Chloroform, its action and administration. London, 1865.

(4) Cité par Dechambre, Dictionnaire de médecine.

(5) Blumenbach. Psychological Journal, vol. V, p. 74.

Hammond (1) a eu l'occasion d'observer un épileptique présentant une perte de substance des os du crâne. Ce médecin constata que " dans l'état comateux succédant aux " attaques d'épilepsie il y avait *élévation* de la cicatrice, et " que dans le sommeil consécutif à la stupeur, il y avait " *dépression* du cuir chevelu au niveau de la cicatrice ; dans " l'état de veille celle-ci restait *au niveau des os du crâne.* "

III. — Les observations qui précèdent sont, sans aucun doute, très intéressantes et constituent un véritable progrès sur les premières expériences ; on peut cependant leur reprocher l'absence de précision dans l'énoncé des résultats.

Bruns (2), le premier, comprenant tout le parti qu'il pouvait tirer d'un semblable mode d'investigation, imagina d'étudier les fonctions cérébrales par la *méthode graphique.* Grâce à cette nouvelle disposition, il lui fut non seulement possible de vérifier les faits indiqués par ses prédécesseurs, mais il eut sur ces derniers l'avantage de pouvoir enregistrer et *mesurer* la valeur relative des différents mouvements du cerveau, tout en les rattachant à la circulation et à la respiration. Il constata pendant le sommeil une diminution de l'amplitude des mouvements du cerveau ; il en conclut à un état anémique de cet organe.

Leyden (3), après lui, répéta ses expériences à l'aide d'un

(1) Hammond William. On vakefulness. Philadelphia, 1866, cité par Dechambre, Dictionnaire de médecine.

(2) Cité par Dechambre et par Jaccoud, Dictionnaire de médecine.

(3) Cité par Dechambre, Dictionnaire de médecine.

instrument analogue au kymographe de Ludwig ; ses résultats confirmèrent pleinement ceux de Bruns.

Salathé [1] à son tour étudia, en 1877, ces phénomènes en examinant les mouvements propres de la fontanelle antérieure chez les jeunes enfants, toujours à l'aide d'appareils graphiques ; il constata de cette façon que „ les mouvements " de la fontanelle, liés à l'action du cœur, offrent une excur- " sion plus développée pendant le sommeil que pendant la " veille, ce qui dénote une diminution de la tension intra-crâ- " nienne, et par conséquent aussi de la turgescence de l'encé- " phale. „

Enfin *Mosso* [2] a complété d'une façon remarquable les résultats obtenus par les auteurs que nous venons de citer, en faisant un grand nombre d'expériences sur trois sujets qu'il a eus pendant assez longtemps à sa disposition : un homme de 37 ans, une femme du même âge et un enfant de 11 à 12 ans. Grâce à des appareils spéciaux, ce physiologiste a pu observer en même temps les mouvements du cerveau, ceux de la poitrine et le pouls radial. Voici, d'ailleurs, ce qui ressort de ses nombreux travaux :

„ Il se produit dans la circulation cérébrale des modifica- " tions au moment intermédiaire entre le sommeil et le réveil. " A ces changements de l'état de réplétion vasculaire céré- " brale correspondent des variations dans la vascularisation " des membres et en particulier de l'avant bras, où l'élargis-

(1) SALATHÉ. Recherches sur les mouvements du cerveau, thèse de Paris, 1877.
(2) MOSSO. Ueber den Kreislauf des Blutes in menschlichen Gehirn. Leipzig, 1881.

" sement des vaisseaux, c'est-à-dire l'afflux sanguin, a été noté
" au moyen du pléthisphygmographe. De plus, pendant le
" sommeil même, on peut constater que toute excitation
" externe portée sur les organes des sens ou même sur la
" peau, amène une contraction des vaisseaux de l'avant-bras,
" d'où une augmentation de pression qui produit consécuti-
" vement un *afflux de sang vers le cerveau*, constaté par un
" changement dans le tracé graphique obtenu à la surface de
" l'encéphale. Réciproquement, lorsqu'on éveille brusquement
" le sujet endormi, il y a contraction des vaisseaux du cer-
" veau et en même temps augmentation de la pression
" générale et accélération du cours du sang dans les hémi-
" sphères. „

...... " Les modifications dans la pression intra-crânienne et dans les mouvements d'expansion du cerveau, faciles à observer à l'état de veille, peuvent se produire à un certain degré pendant le sommeil par des excitations extérieures des sens, qui sont cependant insuffisantes pour réveiller le sujet. C'est ainsi que la parole, un bruit, un attouchement, l'action de la lumière, en un mot, une excitation sensorielle modérée, peut modifier le rythme de la respiration et déterminer la contraction des vaisseaux de l'avant-bras, augmentant ainsi la pression sanguine, et par suite *accroître l'afflux du sang dans le cerveau* et élever la fréquence des battements du cœur. "

Mosso pense que " les rêves peuvent produire des changements dans la circulation, bien que la série de ses recherches démontre qu'il y a dans le sommeil profond une période

pendant laquelle le pouls est parfaitement uniforme, et qu'on peut supposer qu'à cette uniformité correspond un repos des *centres psychiques* assez complet pour faire cesser entièrement tout état de perceptivité même inconsciente."

Mosso a encore constaté dans le cerveau trois mouvements distincts : d'abord les " *pulsations* „ correspondant aux contractions cardiaques;

Puis les " *oscillations* „ coïncidant avec les mouvements respiratoires ;

Enfin les " *ondulations* „ résultant d'après lui de contractions rythmiques des vaisseaux de la pie-mère et du cerveau.

On sait que les artérioles qui partent de l'hexagone de Willis sont richement pourvues de fibres musculaires; les mouvements péristaltiques doivent par conséquent y être plus marqués que dans d'autres réseaux vasculaires.

IV. — Nous citerons pour terminer un dernier mode d'investigation proposé par *Hammond.* Celui-ci, s'appuyant sur la propriété que possède la rétine de refléter la vascularisation cérébrale, a imaginé d'examiner cette partie de l'œil au moyen de l'ophtalmoscope.

Il a trouvé qu'elle était anémiée pendant le sommeil et en a conclu à l'anémie concomittante du cerveau.

En résumé, pour tous les auteurs qui précèdent : pendant le sommeil, les vaisseaux de l'encéphale renferment moins de sang; et la masse cérébrale paraît être revenue sur elle-même. Il semble donc que M. Labbée (1) ait eu raison

(1) Cité par DECHAMBRE, Dictionnaire de médecine, t. XVI, Ire série, p. 458.

d'écrire les lignes suivantes : “ On ne saurait soutenir la théorie ancienne de la congestion ou stase veineuse dans l'encéphale pendant le sommeil ; il est bien démontré qu'il y a plutôt dans le sommeil naturel une *anémie relative* par ralentissement de la circulation, et abaissement de la pression vasculaire intra-crânienne ; ces changements sont caractérisés par des mouvements d'expansion ou de resserrement du cerveau, qui correspondent ou alternent avec les modifications de volume analogues constatées dans les membres et divers organes. ”

Nous devons cependant déclarer que tout le monde n'a pas été aussi convaincu que lui, et il s'est trouvé encore quelques défenseurs de l'ancienne théorie malgré les nombreuses preuves qui semblaient avoir été fournies contre elle. Voyons rapidement leur argumentation et les expériences qu'ils ont instituées.

B. — LE CERVEAU EST CONGESTIONNÉ PENDANT LE SOMMEIL

Cette théorie fut admise sans discussion jusqu'au moment où parurent les travaux de Durham en 1860 ; nous ne pouvons faire intervenir dans le débat les arguments, d'intérêt secondaire d'ailleurs, qu'on faisait valoir en sa faveur avant cette époque : depuis les observations de Durham, la question étant entrée dans une voie nouvelle, celle de l'*expérimentation*, il est tout à fait inutile de rappeler des considérations d'ordre purement hypothétique.

En revanche, nous ne saurions passer sous silence les travaux entrepris il y a peu d'années par M. *Langlet* (1) à Paris. Ce dernier, se servant des mêmes procédés que ses devanciers, en arrive à des conclusions diamétralement opposées aux leurs.

En effet, après avoir montré combien les expériences d'Hammond " laissaient à désirer sous le rapport de la précision et de la rigueur, " il soutient " qu'elles ne peuvent être admises comme bases d'une théorie du sommeil. " Il cherche ensuite à démontrer expérimentalement que le sommeil physiologique s'accompagne d'une légère *hypérémie cérébrale* (théorie de Gübler).

Enfin il rapporte une expérience qu'il a faite en administrant du chloral à un lapin : " Il fit une ouverture dans le crâne, et ne constata, dit il, aucune trace d'anémie des méninges. "

On se demande à quelle conclusion sérieuse peuvent conduire de semblables expériences.

D'autre part, Bedford-Brown (États-Unis) a observé une turgescence et une hypérémie du cerveau au moment de l'administration de l'agent anesthésique.

Brown-Séquard a signalé, chez des animaux, la congestion des vaisseaux de la base du cerveau pendant le sommeil;

Langlet a encore constaté le gonflement de la masse encéphalique dans le même état.

(1) Langlet (J.-B.). Étude critique sur quelques points de la physiologie du sommeil, thèse de Paris, 1872.

Quant aux résultats obtenus à l'aide de l'examen ophtalmoscopique par Hammond, ils sont également controversés. Langlet attribue le rétrécissement de la pupille pendant (1) le sommeil à la congestion cérébrale; *Bouchut* signale " la stase sanguine dans les veines pendant le sommeil, " tandis que *Horand* et *Peuch* (2) indiquent " qu'il n'y a aucune modification dans la circulation du fond de l'œil, tout au moins avec des doses modérées d'hydrate de chloral. "

Gübler, enfin, soutient la thèse ancienne de la congestion sanguine du cerveau pendant le sommeil, en s'appuyant sur l'afflux du sang qu'on observe parfois à la face des dormeurs, et qu'il faut évidemment attribuer à des phénomènes mécaniques de compression, ou de gêne de la circulation de retour, etc.

C. — ÉTAT ACTUEL DE LA QUESTION

On le voit, si l'on embrasse d'un coup d'œil le sujet tel qu'il se présente encore aujourd'hui, nous sommes obligé de reconnaître que les résultats acquis sont bien loin d'être satisfaisants ou complets ; car, malgré les nombreuses expériences qui ont été faites, les avis restent presque aussi partagés qu'ils l'étaient dans le principe. La discussion commencée il y a plus de vingt ans, au lieu de se terminer par un accord unanime ou une opinion généralement admise,

(1) Cité par Dechambre, loc. cit.
(2) Cités par Dechambre, loc. cit.

semble plutôt entravée par des contradictions nouvelles à mesure que des faits nouveaux sont ajoutés aux premiers.

A quoi cela tient-il? Selon nous, c'est à l'inexactitude ou tout au moins à l'insuffisance des procédés mis en usage. Il nous paraît impossible que des résultats qui seraient toujours rigoureux puissent être interprétés de façons si différentes. La difficulté est évidemment de trouver un procédé qui, dans des conditions semblables, donnerait des résultats semblables. Or, c'est là précisément ce qui ne s'est pas encore présenté, dans les nombreuses méthodes suivies jusqu'ici.

Ces méthodes fournissent des résultats diamétralement opposés selon la façon dont on les applique. Tel auteur trouve de la congestion là où tel autre a constaté de l'anémie, et cela en se servant, prétend-on, du même manuel opératoire.

Évidemment cela est impossible, et de semblables divergences d'opinion ne sont que la conséquence de procédés défectueux.

Il faut reconnaître d'ailleurs qu'en général, on peut adresser aux méthodes suivies des reproches assez fondés : lorsque les appareils enregistreurs, par exemple, décèlent les mouvements du cerveau, mis à nu, il est permis de se demander si ces mouvements se produisent également et de la même manière à l'état normal, c'est-à-dire quand la boîte crânienne est complètement fermée. D'autre part, tous ces mouvements transmis à travers des membranes cicatricielles

à la surface même du cerveau, ne renseignent en définitive que l'état des vaisseaux périphériques, et ne fournissent aucun indice sérieux ou indiscutable sur l'état de la vascularisation de la substance encéphalique. En résumé, si l'on examine de près les moyens employés jusqu'ici pour déterminer la répartition du sang dans l'encéphale pendant la veille et pendant le sommeil, il est facile de comprendre la confusion qui règne encore en ce moment sur cette question; pour la dissiper, il est de toute nécessité de se servir désormais d'un moyen *direct*, par lequel il soit possible de vérifier matériellement la quantité de sang contenue dans l'encéphale : c'est ce que nous avons essayé de faire, par le procédé que nous allons décrire.

§ 2. — Manuel opératoire

Le procédé par lequel nous avons déterminé la quantité relative de sang contenue dans l'encéphale est des plus simples. Il consiste à placer la chaîne d'un fort écraseur autour du cou d'un lapin, et à fermer brusquement l'appareil de manière à empêcher instantanément toute communication entre la tête et le tronc. Dès lors, il suffit de détacher avec soin celle-ci, et de rechercher de la manière accoutumée combien elle renferme de sang.

Nous avons répété un certain nombre de fois cette expérience sur des animaux à l'état de veille, puis nous l'avons reproduite sur des animaux endormis par le chloral; de la différence trouvée entre les résultats obtenus nous avons déduit nos conclusions.

Deux objections semblent, à première vue, pouvoir être faites contre cette méthode : la première, c'est que nous n'extrayons pas seulement le sang contenu dans l'encéphale, mais bien le sang de toute la tête, et qu'en conséquence nos résultats pourraient être erronés ; la seconde, c'est que le sommeil de nos animaux est provoqué artificiellement à l'aide d'un anesthésique, le chloral, et que celui-ci peut exercer une certaine influence sur la circulation du sang dans le cerveau.

Examinons immédiatement si ces reproches sont fondés, et pour quels motifs nous n'avons pas craint de les encourir.

I. — Avant de rencontrer la première objection, il ne sera pas inutile, sans doute, d'exposer *pourquoi* nous avons choisi le procédé opératoire dont il vient d'être question. Évidemment, nous aurions préféré évaluer exclusivement le sang répandu dans l'encéphale : les résultats eussent été sans contredit plus rigoureux, et leurs conséquences plus immédiatement appréciables. Mais pour cela il eût fallu pouvoir procéder ici comme sur les poumons, c'est-à-dire jeter une ligature directement sur les artères afférentes. Or ce résultat ne peut être obtenu que par *l'ouverture de la boîte crânienne* et par des manipulations qu'il ne nous paraît pas même possible d'essayer sur les mammifères. Si l'on tient compte, en outre, des nombreuses anastomoses du système encéphalique avec les vaisseaux de la face, on admettra sans peine qu'il eût été absolument impossible d'appliquer ici la méthode qui nous a guidé dans l'étude des poumons. Nous avons donc été

matériellement obligé de recourir, faute de mieux, au moyen que nous avons employé.

D'ailleurs pourquoi séparer l'une de l'autre, au prix de difficultés peut-être insurmontables, ces deux circulations qui se tiennent et ne forment pour ainsi dire qu'un seul réseau vasculaire?

Si nous envisageons la circulation générale de la tête, nous constatons que la circulation veineuse intra-crânienne et la circulation veineuse extra-crânienne présentent un grand nombre de communications, grâce aux *veines émissaires de Santorini* qui prennent naissance dans les parties extérieures du crâne, et vont se déverser dans les sinus de la dure mère, lesquels reçoivent en même temps toutes les veines encéphaliques. On sait que la *veine ophtalmique* assez volumineuse, qui s'anastomose avec les veines de la face, pénètre dans la fente sphénoïdale et va se jeter dans le sinus caverneux ; que la *veine mastoïdienne* traverse le trou mastoïdien pour se jeter ensuite dans le sinus latéral ; enfin que le sinus longitudinal prend son origine, au moyen de quelques petites veines, dans la cloison des fosses nasales, etc.

On peut donc dire que la circulation intra-crânienne et la circulation extra-crânienne présentent de nombreuses anastomoses, et se trouvent dans une connexité si intime que l'une des deux se ressent généralement des fluctuations subies par l'autre. C'est d'ailleurs un fait d'observation journalière, que dans la syncope il y a pâleur de la face en même temps qu'anémie du cerveau ; tandis que dans la congestion cérébrale on constate aussi la turgescence des vaisseaux de la face.

Et alors même que ces deux circulations seraient réellement distinctes l'une de l'autre, qu'elles posséderaient chacune son mécanisme propre et indépendant, nous croyons que le principe de notre opération ne pourrait pas encore être accusé d'inexactitude absolue.

En effet, si nous considérons dans la tête deux portions séparées : l'encéphale d'une part, le crâne et la face d'autre part, il est évident que l'élément le plus important, le plus véritablement actif au point de vue fonctionnel, c'est sans contredit l'élément nerveux central ; c'est lui qui sera exposé pendant le sommeil à une modification plus profonde, car c'est de lui qu'émanent tous les actes volontaires et conscients.

Si donc nous constatons une différence dans la répartition du sang de la tête entre l'état de veille ou d'activité et l'état de sommeil ou de repos, il ne sera pas difficile de décider à laquelle des deux portions de cet organe il faudra presque nécessairement en attribuer la cause. Il est évident que, s'il existe un écart dans la distribution du sang au crâne et à la face pendant le sommeil et pendant la veille, cet écart ne sera jamais aussi important ni aussi marqué qu'il le serait dans l'appareil encéphalique.

Toute différence constatée dans la masse de sang répandue dans l'ensemble de la tête, correspondra donc à une différence marquée dans la répartition du sang de l'encéphale. Nos chiffres ne sont, en définitive, que des *minima*, et leur valeur relative n'est nullement erronée.

II. — Quant à la seconde objection, celle qui vise l'admi-

nistration du chloral pour provoquer le sommeil chez les animaux en expérience, il est utile de se rappeler que les effets de cette substance ne sont pas complètement identiques à ceux des anesthésiques en général, et du chloroforme en particulier. Ces derniers produisent à la vérité une période d'excitation, ordinairement très appréciable ; mais tous les auteurs (Gübler [1], Rabutteau [2], Labbée [3],) sont d'accord pour admettre qu'il en est tout autrement du chloral.

Voici ce que Labbée [4] nous apprend à cet égard :

" Une injection sous-cutanée de 1.50 gramme d'hydrate de chloral, *chez le lapin*, amène en peu de temps de la faiblesse musculaire, de l'incoordination des mouvements, la résolution complète. L'animal s'endort, sa sensibilité est amoindrie, sa respiration plus lente, sa température abaissée. Après un temps assez court (une heure ou deux) ces symptômes ont disparu ; la guérison a lieu.

..." La chloralisation *chez l'homme* n'est pas très différente. Une dose faible donnée par la bouche ou par le rectum détermine ce qui suit, au bout d'un quart d'heure ou plus : bâillements, clignotements des paupières ; le besoin de sommeil se fait sentir ; les sens s'émoussent quelque peu ; tout à coup le patient est endormi. Son pouls, sa respiration sont ralentis ; ses pupilles sont rétrécies ; ses globes oculaires convulsés en dedans ; ses muscles sont relâchés ; *tous*

(1) Cité par Dechambre et par Jaccoud, loc. cit.

(2) et (3) Dechambre, loc. cit.

(4) Labbée. In Dechambre. Dictionn. encyclop. des sciences médicales. T. XVI, Ire série, p. 458.

phénomènes identiques à ceux que l'on note dans le sommeil physiologique. Le sommeil chloralique n'est pas très profond d'abord ; aussi, un bruit peu intense peut le troubler, mais c'est pour quelques instants seulement, il reprend aussitôt son cours. Nous verrons plus loin que cet hypnotisme *ne diffère pas du sommeil physiologique.* "

Le sommeil chloralique est pour ainsi dire identique au sommeil ordinaire ; *Mauriac* [1] a remarqué " qu'il est rarement accompagné de rêves ou d'hallucinations. " *Beaunis* dit également [2] : " L'action du chloral se distingue de celle du chloroforme par l'absence du stade d'excitation. "

Pour *Claude-Bernard* [3], il n'y aurait pas une véritable anesthésie ; le chloral serait plutôt un hypnotique.

Enfin, d'après *Liebreich* et *Bouchut* [4], il est ordinairement précédé d'une somnolence préparatoire ; en outre, selon ces auteurs, " après la narcose chloralique on ne constate aucune incommodité analogue à celles qui résultent de l'ingestion des préparations d'opium : accablement, sécheresse de la bouche, dyspepsie, etc. "

Les effets que nous venons d'énumérer ont été surtout vus chez des malades. Labbée [5] ajoute que l'hydrate de chloral fait dormir de la même façon l'homme bien portant : " C'est donc, dit-il, un narcotique vrai, capable de faire

(1) Cité par DECHAMBRE, loc. cit.
(2) BEAUNIS. Elém. de Physiologie. Paris 1879, p. 1397.
(3) CLAUDE-BERNARD. Leçons sur les anesthésiques et sur l'asphyxie. Paris 1875.
(4) Cité par DECHAMBRE.
(5) Cité par DECHAMBRE.

dormir l'homme en santé comme l'homme malade. »

Tout ce qui précède nous autorise à admettre que le sommeil chloralique est en tous points semblable au sommeil naturel ; et, sans rechercher ni la cause première, ni le mécanisme intime de ces deux formes d'un même état physiologique, il nous semble permis d'en conclure que, les symptômes étant tout à fait identiques dans les deux cas, les caractères anatomo-physiologiques de l'encéphale doivent aussi être sinon égaux du moins équivalents. Il n'y a donc aucun inconvénient à endormir les animaux par le choral à dose faible; et la seconde objection qui semblait pouvoir être adressée à notre méthode disparaît à son tour.

Cela posé, il ne nous reste plus qu'à développer nos expériences, à comparer nos résultats à ceux obtenus antérieurement, et à prendre enfin nos conclusions.

§ 3. — Compte rendu des expériences

Nous grouperons toutes nos expériences en deux séries : dans la première nous rangerons les expériences faites sur les animaux à l'état de veille; dans la seconde, celles pratiquées sur les animaux endormis.

Première série. — ANIMAUX A L'ÉTAT DE VEILLE.

Expérience n° I. — Lapin pesant 1730 grammes. On extrait de la carotide 1 centimètre cube de sang pour la préparation de la solution titrée. Puis la plaie est recousue et l'animal est enlevé du chevalet de Czermak et abandonné

librement à lui-même pendant quelques minutes, de manière à lui laisser reprendre une position tout à fait normale. On place la chaîne de l'écraseur autour du cou de l'animal, le plus près possible de la tête, et brusquement on ferme l'appareil de telle sorte que toute circulation soit interrompue à ce moment entre la tête et le tronc; on continue à serrer et l'animal meurt aussitôt. On laisse alors l'écraseur en place, et l'on coupe la peau et les muscles en dehors de ce dernier, mais tout à fait contre lui; de cette façon la tête est encore maintenue par la chaînette, et pas une goutte de sang ne peut s'en échapper. L'organe ainsi isolé est immédiatement pesé et son poids est noté comme pour les poumons à la suite du poids total de l'animal. Puis la tête est divisée en morceaux et ceux-ci, étant placés dans un moulin à broyer, sont bientôt réduits en une bouillie rougeâtre, très molle, de laquelle il sera facile d'extraire tout le sang, d'après le procédé ordinaire décrit dans la première partie de ce travail.

Voici les résultats de l'expérience :

L'animal pesait 1730 grammes et renfermait 84,2 c. c. de sang.

La tête pesait 162 grammes et renfermait 11 c. c. de sang.

Tous calculs faits, la tête pesait la $^1/_{10}$ partie du poids total,

Et elle renfermait la $^1/_{7.6}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était donc de 1.31.

Les quatre expériences suivantes ayant été pratiquées

dans des conditions absolument identiques, nous n'en répéterons pas la description. Voici leurs résultats respectifs :

Expérience n° II. — L'animal pesait 2585 grammes et renfermait 126 c. c. de sang.

La tête pesait 217 grammes et renfermait 13 c. c. de sang.

La tête pesait la $^1/_{11}$ partie du poids réel de l'animal et elle renfermait la $^1/_{9.5}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 1.18.

Expérience n° III. — L'animal pesait 1755 grammes et renfermait 85.7 c. c. de sang.

La tête pesait 163 grammes et renfermait 11 c. c. de sang.

La tête pesait la $^1/_{10.3}$ partie du poids réel de l'animal et elle renfermait la $^1/_{7.7}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 1.33.

Expérience n° IV. — L'animal pesait 1235 grammes et renfermait 57.2 c. c. de sang.

La tête pesait 135 grammes et renfermait 8 c. c. de sang.

La tête pesait la $^1/_{8.6}$ partie du poids réel et elle renfermait la $^1/_{7.1}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 1.21.

Expérience n° V. — L'animal pesait 1942 grammes et renfermait 94.7 c. c. de sang.

La tête pesait 195 grammes et renfermait 12 c. c. de sang.

La tête pesait la $^1/_{9.3}$ partie du poids réel et elle renfermait la $^1/_{7.8}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 1.20.

Comme on le voit, les chiffres de ces différentes expériences sont dans un rapport constant, et l'uniformité des résultats est remarquable. Nous constatons, en effet, que la tête exsangue équivaut en moyenne à la $^1/_{10}$ partie environ du poids total de l'animal dans les mêmes conditions ; tandis que le sang qu'elle renferme constitue la $^1/_8$ partie environ de la masse totale du sang.

La moyenne de la capacité sanguine est de 1.25.

Voici d'ailleurs le tableau comparatif résumant toutes ces expériences :

—

EXPÉRIENCES SUR L'ENCÉPHALE. — TABLEAU N° I

SÉRIE	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	ÉTAT DE L'ANIMAL EN EXPÉRIENCE	Poids du lapin	Quantité de sang dans la totalité du corps	Quantité de sang trouvée dans la tête	Rapport de cette quantité à la masse totale	Poids de l'animal exsangue et abstraction faite des résidus digestifs	Poids de la tête dépourvue de sang	Rapport de cette quantité au poids de l'animal exsangue	Capacité sanguine
			gr.	c. c.	c. c.		gr.	gr.		
I	I	Veille	1730	84,20	11	$^1/_{7,65}$	1514	150	$^1/_{10,00}$	1,31
	II	Veille	2585	126,00	13	$^1/_{9,50}$	2275	204	$^1/_{11,00}$	1,18
	III	Veille	1755	85,70	11	$^1/_{7,70}$	1543	150	$^1/_{10,30}$	1,33
	IV	Veille	1235	57,20	8	$^1/_{7,10}$	1086	126	$^1/_{8,60}$	1,21
	V	Veille	1942	94,70	12	$^1/_{7,80}$	1704	182	$^1/_{9,30}$	1,20

Abordons maintenant la description des expériences de la deuxième série, c'est-à-dire de celles faites sur les animaux à l'état de sommeil.

Deuxième série. — ANIMAUX EN SOMMEIL.

Expérience n° VI. — Lapin pesant 1780 gr.

Après avoir enlevé un centimètre cube de sang à la carotide, nous introduisons la canule à pas de vis d'une petite seringue à injection dans la veine jugulaire, et nous poussons dans celle-ci, *très lentement,* deux grammes d'hydrate de chloral. L'opération est conduite de telle manière que l'injection dure environ dix minutes. Grâce à cette précaution, nous obtenons, sans la moindre apparence d'accident, un sommeil très calme, très progressif, et l'animal semble s'endormir naturellement. Dès que l'opération est achevée et avant la production de sommeil, l'animal est dégagé de ses liens et abandonné à ses propres mouvements sur le sol. Au bout d'un quart d'heure, il y a résolution musculaire et le sommeil est complet. Nous passons alors avec précaution la chaîne de l'écraseur autour du cou de l'animal et nous terminons l'expérience comme précédemment :

L'animal pesait 1780 gr. et renfermait 86,8 c. c. de sang.
La tête " 163 " " 8 " "

La tête " la $^1/_{10}$ partie du poids réel, et elle renfermait la $^1/_{10.8}$ partie du sang total. Sa capacité sanguine était de 0.92.

Les expériences suivantes ont été conduites d'une façon

tout à fait identique; il n'y a guère que dans l'expérience n° XI que nous ayons fait l'injection non pas intra-veineuse mais sous-cutanée. Nous avons cette fois dû employer 5 grammes de chloral, et le sommeil n'est survenu que trois quarts d'heure après l'opération. Du reste, rien de particulier à noter dans cette expérience.

Voici les résultats obtenus :

Expérience n° VII. — L'animal pesait 1430 gr. et renfermait 70 c. c. de sang.

La tête pesait 168 gr. et renfermait 8 c. c. de sang.

La tête pesait la $^{1}/_{8}$ partie du poids réel et elle renfermait la $^{1}/_{8.7}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.90.

Expérience n° VIII. — L'animal pesait 1532 gr. et renfermait 74.3 c. c. de sang.

La tête pesait 142 gr. et renfermait 6 c. c. de sang.

La tête pesait la $^{1}/_{9.89}$ partie du poids réel et elle renfermait la $^{1}/_{12}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.80.

Expérience n° IX. — L'animal pesait 1912 gr. et renfermait 93.6 c. c. de sang.

La tête pesait 177 gr. et renfermait 8 c. c. de sang.

La tête pesait la $^{1}/_{10}$ partie du poids réel et elle renfermait la $^{1}/_{11.7}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.85.

Expérience n° X. — L'animal pesait 1785 gr. et renfermait 87.3 c. c. de sang.

La tête pesait 165 gr. et renfermait 7.5 c. c. de sang.

La tête pesait la $^1/_{10}$ partie du poids réel et elle renfermait la $^1/_{11.6}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.86.

Expérience n° XI. — L'animal pesait 2,080 gr. et renfermait 98 c. c. de sang.

La tête pesait 195 gr. et renfermait 8 c. c. de sang.

La tête pesait la $^1/_{9.7}$ partie du poids réel et elle renfermait la $^1/_{12}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.80.

—

Par les chiffres qui précèdent on peut s'assurer que, comme dans la première série, les résultats sont très concordants et ne s'éloignent presque pas les uns des autres.

En effet, si nous recherchons la quantité moyenne de sang contenue dans la tête des animaux en sommeil, nous la trouvons égale à $^1/_{11}$ environ de la masse totale de sang, et nous constatons que les résultats partiels se rapprochent beaucoup de ce dernier chiffre. Quant à la capacité sanguine, elle est représentée ici, en moyenne, par 0.85.

(Voir le tableau ci contre.)

EXPÉRIENCES SUR L'ENCÉPHALE. — TABLEAU N° II

SÉRIE	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	ÉTAT DE L'ANIMAL EN EXPÉRIENCE	Poids de l'animal	Quantité de sang dans la totalité du corps	Quantité de sang trouvée dans la tête	Rapport de cette quantité à la masse totale	Poids de l'animal exsangue et abstraction faite des résidus digestifs	Poids de la tête dépourvue de sang	Rapport de cette quantité au poids de l'animal exsangue	Capacité sanguine
			gr.	c. c.	c. c.		gr.	gr.		
II	VI	Sommeil	1780	86,8	8	$^1/_{10,80}$	1562	154	$^1/_{10,00}$	0,92
	VII	Sommeil	1430	70	8	$^1/_{8,70}$	1258	159	$^1/_{8,00}$	0,90
	VIII	Sommeil	1532	74,3	6	$^1/_{12,00}$	1336	135	$^1/_{9,89}$	0,80
	IX	Sommeil	1912	93,6	8	$^1/_{11,70}$	1685	168	$^1/_{10,00}$	0,85
	X	Sommeil	1785	87,3	7,5	$^1/_{11,60}$	1571	157	$^1/_{10,00}$	0,86
	XI	Sommeil	2080	98	8	$^1/_{12,00}$	1800	186	$^1/_{9,70}$	0,80

Réunissons maintenant dans un tableau général toutes les données fournies par ces deux ordres d'expériences, et mettons en regard les uns des autres les résultats obtenus, afin de mieux pouvoir les comparer :

Série	Numéros des expériences	ÉTAT DE L'ANIMAL	Rapport exact du poids de la tête exsangue au poids de l'animal	Rapport moyen	Rapport exact de la quantité de sang contenue dans la tête à la masse totale	Rapport moyen	Capacité sanguine exacte	Valeur moyenne
	I		1/10 00		1/7 60		1 31	
	II		1/11 00		1/9 50		1 18	
I	III	Veille	1/10 50	1/10	1/7 70	1/8	1 33	**1,25**
	IV		1/8 60		1/7 10		1 21	
	V		1/9 30		1/7 80		1 20	
	VI		1/10 00		1/10 80		0 92	
	VII		1/8 00		1/8 70		0 90	
II	VIII	Sommeil	1/9 89	1/10	1/12 00	1/11.5	0 80	**0,85**
	IX		1/10 00		1/11 70		0 85	
	X		1/10 00		1/11 60		0 86	
	XI		1/9 70		1/12 00		0 80	

L'examen comparatif des résultats de ces deux séries d'expériences nous paraît être d'un grand intérêt. En effet, alors que le rapport du poids de la tête exsangue au poids total de l'animal dans les mêmes conditions, est constamment le même dans toutes nos observations, nous constatons une différence très sensible et *toujours identique,* dans les quantités de sang

qui s'y trouvent répandues aux différents moments que nous avons choisis. Nous voyons qu'à l'état de veille la tête renferme généralement la $1/8$ partie environ de la masse totale du sang, tandis qu'à l'état de sommeil elle n'en renferme que la $1/12$ partie environ, ce qui constitue un écart très appréciable. Nous retrouvons d'ailleurs la même différence dans la capacité sanguine, qui de 1.25 dans la veille tombe à 0.85 dans le sommeil.

Ces chiffres ont une réelle valeur, croyons-nous, non seulement pour la distinction qu'ils établissent au point de vue de la répartition du sang dans la tête, entre la veille et le sommeil, mais encore parce qu'ils démontrent une fois de plus avec quelle constante précision le même phénomène physiologique se présente chez des sujets différents pourvu que ceux-ci soient placés dans des conditions analogues.

§ IV. — Conclusions

Les expériences que nous venons de décrire prouvent à toute évidence qu'il y a plus de sang dans la tête à l'état de veille que pendant le sommeil chloralique.

Nous avons montré ailleurs la grande analogie existant entre ce sommeil et le sommeil naturel ; nous avons également fait voir que, s'il y avait des quantités différentes de sang dans la tête à des moments différents, c'était à l'encéphale surtout qu'il fallait en attribuer la cause. En conséquence, nous nous croyons autorisé à admettre que, d'une façon générale, celui-ci *renferme plus de sang pendant la veille que pendant le sommeil ;* et, reprenant cette phrase de Labbée,

qui croit que pendant le sommeil naturel le cerveau serait congestionné :

..... " Il est donc préférable d'admettre que, dans le sommeil normal, le cerveau étant congestionné plutôt qu'ischémié, il en est de même dans l'hypnotisme chloralique, " puisque celui-ci et le sommeil ont entre eux les plus " grandes analogies, "

nous pouvons la retourner, et dire à notre tour :

On peut admettre avec raison que, dans le sommeil chloralique le cerveau étant anémié plutôt que congestionné, il en est de même dans le sommeil normal, " PUISQUE CELUI-CI " ET L'HYPNOTISME CHLORALIQUE ONT ENTRE EUX LES " PLUS GRANDES ANALOGIES. "

Si cela est vrai, et nous en sommes intimement convaincu, il est permis d'ajouter que l'encéphale renferme plus de sang lorsqu'il fonctionne que lorsqu'il est au repos ; et ainsi se vérifie expérimentalement ce principe de Claude Bernard, que *tout organe au repos est anémié,* principe qu'il complète du reste en ajoutant ces mots : " *l'anesthésie étant le repos " pour les éléments nerveux, il faut que la circulation y soit " alors moins active.* "

Est-ce à dire pourtant que pendant le sommeil toutes les parties de l'encéphale soient également anémiées? Point du tout. Nos expériences nous démontrent que la quantité TOTALE de sang qui baigne cet organe, pris dans son ensemble, est moindre ; mais rien ne nous prouve que la répartition soit égale et uniforme dans toute la masse encéphalique.

Bien au contraire, nous croyons quant à nous que si, pendant le sommeil, l'encéphale dans son entier peut être considéré comme étant au repos et anémié, il s'y trouve des parties, variables d'ailleurs, qui ne cessent d'agir et de fonctionner, et sont par cette raison même dans une congestion relative : cela confirmerait cette explication donnée par *Brown-Séquard* aux *ondulations* du cerveau observées par Mosso : " Que ces mouvements seraient la résultante des variations " des circulations *localisées dans certains territoires.* "

Cette hypothèse expliquerait aussi cet autre fait constaté directement par MM. Braynard et Brown-Séquard ([1]) que " pendant le sommeil naturel, alors que l'on constate la " pâleur, et la diminution de calibre des vaisseaux, du moins " à la surface des hémisphères, *d'autres parties, telles que* " *la base de l'encéphale et la moelle, sont congestionnées.* "

Pour résumer ce qui précède, nous dirons donc :

1° Pendant le sommeil produit par le chloral, l'encéphale pris en masse est anémié ;

2° Le sommeil chloralique se rapprochant en tous points du sommeil naturel (Labbée, Gübler, Rabutteau, Claude Bernard, Liebreich et Bouchut, etc.), il est probable que pendant celui-ci l'encéphale est également anémié ;

3° Pendant le sommeil naturel ou autre certaines parties de l'encéphale sont en activité, tandis que d'autres sont au repos ;

4° Les parties actives sont probablement congestionnées ;

(1) Cité par DECHAMBRE, loc. cit.

les parties au repos sont anémiées (physiologiquement bien entendu).

Telle est, croyons-nous, non seulement la réalité des faits, mais encore l'origine et l'explication de la diversité des opinions professées dans ces derniers temps par les observateurs aussi nombreux qu'autorisés qui se sont occupés de la question. On comprend, en effet, de cette manière, comment certains auteurs ont pu constater de la congestion pendant le sommeil, tandis que d'autres ont vu de l'anémie cérébrale : ces différences ont résulté sans doute de la situation de la partie observée.

CHAPITRE IV

EXPÉRIENCES SUR LES MUSCLES

L'étude de la circulation sanguine dans les muscles est l'une des plus intéressantes qui se puissent entreprendre. Car, outre que le système musculaire constitue par sa masse même une portion très étendue de l'économie (les $^{19}/_{20}$ du poids total du corps d'après Legros et Onimus), il exerce une réelle influence sur les diverses fonctions physiologiques. Ainsi, non seulement il est l'élément producteur de tout mouvement quelconque externe ou interne de l'être vivant, mais encore il contribue largement à la nutrition en général, par les échanges nombreux qu'il provoque et par l'impulsion puissante qu'il imprime indirectement à la circulation et à la respiration ; enfin il est une des sources principales de la chaleur animale par l'extrême activité des phénomènes chimiques dont il est le siège.

En résumé, les muscles jouent dans l'économie un triple rôle, dont l'importance est considérable à tous les points

de vue ; et cependant, chose singulière, la répartition du sang dans ces organes est encore complètement inconnue, et il n'existe même jusqu'à ce jour aucune donnée expérimentale tendant à éclaircir véritablement le sujet. On a fréquemment étudié les propriétés électriques des muscles, la nature et le mécanisme de leur contraction, mais on ne sait pas encore à quel moment ils renferment le plus de sang, si c'est au moment de leur activité ou si c'est pendant leur repos. La question étant très controversée actuellement, nous nous sommes proposé de l'examiner à notre tour, et de contribuer à sa solution dans la mesure de nos moyens. C'est le résultat de nos recherches qui fera l'objet du présent chapitre.

§ 1er. — Historique

A maintes reprises on s'est demandé quelle pouvait être l'influence de la contraction musculaire sur la quantité de sang renfermée dans les muscles, et, si l'on n'a pas fait d'expériences directes à ce sujet, on n'a pas manqué cependant d'émettre deux hypothèses, essentiellement différentes d'ailleurs, basées l'une et l'autre avec plus ou moins d'opportunité sur des considérations théoriques vraies.

Quelques auteurs ont émis l'idée que les muscles contiendraient plus de sang pendant le relâchement que pendant la contraction; ils se sont basés, pour cela, sur ce fait démontré récemment (1), que les muscles ont plutôt un volume moindre

(1) Marchand, Weber, Valentin ont, en effet, constaté que la densité des muscles en contraction augmentait de 1/1300. (Jaccoud, Dict. de médecine.)

pendant la contraction que dans le relâchement. A l'appui de leur hypothèse, ils invoquent encore la façon dont se fait la circulation veineuse dans les membres, et pensent que pendant la contraction musculaire le sang est nécessairement refoulé des capillaires vers le cœur droit, de manière à vider presque totalement les petits vaisseaux et à diminuer beaucoup la quantité totale de sang qui se trouve dans les muscles.

D'autres auteurs, prenant en considération les phénomènes chimiques qui se passent dans les muscles en activité, y trouvent des motifs de croire qu'à ce moment la circulation y est au contraire beaucoup plus active.

Sans vouloir pénétrer les détails de ces théories diverses, on reconnaîtra sans peine que, tout en s'appuyant sur des faits établis et certains, elles n'en sont cependant que les commentaires plus ou moins discutables, puisqu'elles aboutissent à des conclusions diamétralement opposées. Or, deux lois physiologiques ne pouvant pas se détruire mutuellement, il faudra rechercher par un autre procédé à laquelle de ces théories il sera préférable de se ranger. C'est cet examen qui constituera l'objet du paragraphe suivant.

§ 2. — Manuel opératoire

Par les lignes qui précèdent on a pu s'apercevoir qu'aucune observation directe n'a été prise jusqu'ici relativement au sujet qui nous occupe. Nous laissant guider par les principes déjà émis antérieurement, nous nous sommes demandé s'il

ne serait pas possible de surprendre la circulation sanguine dans les muscles comme nous l'avons fait pour les poumons et pour l'encéphale, et nous avons pensé que ce nouveau problème offrirait moins de difficultés que les deux premiers. Les muscles, en effet, sont beaucoup plus accessibles que les organes dont il a déjà été question, et les causes d'erreur y sont, comme nous le verrons bientôt, beaucoup moins à craindre. Mais avant d'en arriver à la description de la méthode que nous avons suivie, il est indispensable d'entrer dans quelques considérations concernant le système musculaire en général.

Les muscles peuvent se trouver physiologiquement dans deux états différents :

1° *En repos*, c'est-à-dire en état de relâchement;

2° *En activité*, c'est-à-dire en état de contraction.

Chacun de ces deux états extrêmes peut varier dans de certaines limites : on sait, en effet, que le relâchement peut être plus ou moins complet selon que le muscle présente ou non de la " tonicité musculaire ; " et quant à la contraction, on sait qu'elle varie depuis la simple secousse musculaire jusqu'au tétanos permanent et prolongé, état que nous croyons cependant pouvoir considérer comme étant pathologique.

Parmi ces différents degrés de contraction, il en est deux que nous n'avons pas étudiés :

C'est d'abord la secousse musculaire, ou contraction tout à fait simple, durant un temps infiniment court, et résultant d'une seule incitation nerveuse.

C'est ensuite le tétanos prolongé, que nous considérons plutôt comme étant du domaine des faits pathologiques.

Il eût été très difficile, sinon impossible, de saisir un muscle pendant le temps excessivement court d'une contraction simple, et il est probable que la circulation sanguine n'est pas modifiée d'une façon bien sensible pendant un phénomène d'aussi peu de durée ; ensuite, on peut avec raison, nous semble-t-il, considérer la contraction simple comme étant un intermédiaire entre le repos et la contraction permanente de quelque durée, celle-ci n'étant en réalité que la première forme exagérée ou plutôt répétée un grand nombre de fois sans interruption. Empressons-nous d'ajouter, toutefois, que nous n'avons jamais laissé cet état se prolonger au delà de quelques secondes (de 5 à 10 au maximum), afin de rester strictement dans les limites physiologiques.

Ces réserves étant faites, abordons l'étude du système musculaire dans ses deux manifestations générales le mieux tranchées et le plus appréciables : le *repos* et l'*activité.*

1° *Muscles en repos.* — Les muscles chez l'être vivant dans des conditions normales ne sont jamais dans un repos absolu. A cause même de la circulation et de l'innervation, ils se trouvent constamment dans un état transitoire entre la contraction et le relâchement absolu, lequel ne se rencontre que dans les paralysies ou après la disparition de la raideur cadavérique. Cet état a été nommé le *tonus musculaire*, et il a pour effet de maintenir les muscles dans une tension constante ; il se caractérise en ce qu'il est tout à fait

indépendant des fibres élastiques et de la membrane d'enveloppe des fibres musculaires, et qu'il réside exclusivement dans ces dernières. On distingue facilement la tonicité de l'élasticité, parce que celle-ci est une propriété purement physique n'exigeant pas pour se manifester que le système nerveux soit intact, tandis que la première disparaît aussitôt que les muscles ne sont plus en communication avec les centres nerveux, ou que ceux-ci, pour une raison quelconque, ne transmettent plus leurs incitations aux fibres musculaires. Dans la paralysie faciale, par exemple, le côté paralysé est attiré par la tonicité musculaire du côté sain, mais il n'a pas perdu son élasticité.

Il ne faudait pas en conclure cependant que la tonicité soit nécessairement toujours égale à elle-même chez l'être vivant dans des conditions normales. Ainsi, il est démontré que pendant le sommeil naturel ou artificiel, la tension des muscles, et partant leur tonicité, est beaucoup *moindre* que pendant la veille. Cela est tellement vrai que la *résolution musculaire* est l'un des principaux symptômes du sommeil chloroformique, etc.

De même chez l'animal curarisé on constate le relâchement complet des muscles; ici cependant le mécanisme est différent : on sait, en effet, que le curare exerce son action sur les plaques terminales des filets nerveux, de manière à détruire toute communication entre la fibre musculaire et les centres moteurs.

En somme donc, les muscles au repos physiologique sont susceptibles de se présenter sous deux états différents :

En tonicité pendant la veille ;

En résolution pendant le sommeil.

Sortant des conditions normales, nous pouvons placer les muscles dans un troisième état de relâchement se rapprochant plus ou moins de la résolution par le sommeil : c'est la paralysie spéciale produite par le curare. C'est sous ces trois états que nous étudierons bientôt la répartition du sang dans le tissu musculaire au repos.

Examinons maintenant les muscles en activité physiologique.

2° *Muscles en activité.* — Si le repos musculaire nous offre des degrés d'intensité différente, la contraction musculaire est susceptible de bien plus de variations encore. Celle-ci en effet est faible ou forte, longue ou courte, selon l'énergie et la durée de l'incitation nerveuse ; enfin elle est complète ou incomplète selon la résistance qu'elle est destinée à vaincre. Voyons immédiatement quels sont les moyens dont nous disposons pour provoquer artificiellement ces divers modes de contraction.

En première ligne nous devons noter les excitations électriques appliquées soit au niveau de la moelle, soit directement sur les nerfs moteurs de la région en expérience. Cette dernière influence est de beaucoup plus puissante que l'autre et elle nous a permis d'atteindre au maximum de contraction musculaire.

Un autre moyen que nous avons également employé, c'est l'injection d'une solution de strychnine soit dans le tissu cellulaire sous-cutané, soit dans les veines. On sait que cette

substance augmente considérablement la surexcitabilité nerveuse, et qu'après son introduction à certaine dose dans l'économie, la plus petite excitation est immédiatement suivie d'un effet considérable. Nous devons dire cependant que la contraction musculaire produite par ce procédé est moins intense que celle qui résulte des excitations électriques.

Enfin, selon que les membres sur lesquels on opère sont libres ou fixés par des liens, leurs mouvements sont plus ou moins gênés, et en conséquence leur contraction est aussi plus ou moins complète.

Nous avons donc dans l'activité musculaire, comme dans le relâchement, toute une série de gradations qui nous permettent d'étudier la répartition du sang dans les muscles d'une façon assez complète, et par lesquelles nous pouvons nous assurer si réellement l'état d'un muscle influe sur la quantité de sang qu'il renferme, et dans l'affirmative, de quelle nature est cette influence.

Il nous reste maintenant à décrire de quelle manière nous avons mis en pratique les diverses considérations que nous venons d'énumérer.

D'abord toutes nos expériences ont été faites sur la même région ; nous avons choisi le tiers postérieur du corps chez le lapin, c'est-à-dire le bassin et les deux membres postérieurs. Nous avons fixé notre choix sur cette partie pour plusieurs raisons :

La première, c'est qu'elle est la plus charnue ;

La seconde, c'est qu'il est possible de la délimiter très exac-

tement pendant le cours de l'opération, ce qui est tout à fait nécessaire à la comparaison des expériences ;

La troisième enfin, c'est qu'il est très facile de la mettre dans le relâchement ou dans la contraction avec plus ou moins d'intensité.

Quant à l'opération elle-même, elle consiste simplement à placer le tiers postérieur du corps dans l'un des états que nous avons cités, puis de séparer cette partie du reste du tronc à l'aide d'un fort écraseur appliqué comme nous l'avons vu dans les expériences sur l'encéphale. Il ne reste plus alors qu'à rechercher la quantité de sang contenue dans l'organe extirpé et à faire les calculs déjà signalés antérieurement.

Voici, du reste, le compte rendu de nos expériences :

§ 3. — Compte rendu des expériences

Nous pouvons ranger toutes les expériences que nous avons pratiquées sur les muscles en deux séries principales : dans la première nous examinons les muscles en repos ; dans la seconde nous les étudions en état d'activité.

De plus, à la suite des considérations que nous avons fait valoir dans le paragraphe précédent, chacune de ces séries se subdivise elle-même en plusieurs groupes, que nous classons de la manière suivante :

Ire série. — Muscles en repos.

1° Animaux endormis. — *Résolution musculaire complète ;*

2° Animaux curarisés. — *Résolution musculaire* moins prononcée;

3° Animaux à l'état de veille, muscles au repos. — *Tonicité musculaire.*

IIe série. — Muscles en activité.

1° Animaux strychninés. — Contraction relativement peu prononcée;

2° Excitations électriques sur la moelle. — Contraction musculaire intense;

3° Excitations électriques portées directement sur les sciatiques; pattes retenues; contraction très intense.

4° Mêmes excitations; pattes déliées, maximum de contraction physiologique permanente.

Ire série. — Muscles en repos

1° Animaux endormis. — *Résolution musculaire complète.* — 3 expériences.

Expérience n° I. — Lapin pesant 1532 grammes. L'animal étant fixé au chevalet de Czermak, nous lui enlevons, de la manière accoutumée, 1 centimètre cube de sang de l'artère carotide, puis nous lui faisons avec les précautions déjà signalées, une injection de 2 grammes de chloral dans la veine jugulaire. Aussitôt l'injection terminée et avant que le sommeil ne se soit produit, l'animal est délivré de ses liens et abandonné sur le sol à ses propres mouvements.

Nous ne répéterons pas ce que nous avons dit sur l'emploi du chloral comme soporifique. Pour ce qui concerne cette question nous renvoyons le lecteur au chapitre II (Expériences sur l'encéphale, action du chloral chez le lapin). En tout état de cause, nous sommes d'avis que ce corps ne doit pas provoquer plus de troubles ni d'anomalies dans la circulation musculaire qu'il n'en a produit dans la circulation encéphalique, par la raison que le sommeil chloralique est en tous points semblable au sommeil normal et spontané. Du reste, nous pouvons affirmer que les phénomènes apparents qui se passent du côté des muscles dans les deux cas, sont absolument identiques.

L'animal étant parfaitement endormi, nous plaçons la chaîne de l'écraseur de manière qu'elle corresponde exactement à l'articulation sacro-lombaire, et nous fermons brusquement l'appareil. L'animal est aussitôt sacrifié, et le tiers postérieur du corps étant détaché avec soin, nous le pesons et l'expérience est achevée comme précédemment.

Voici les résultats qu'elle nous a fournis :

L'animal pesait 1532 grammes et renfermait 74.3 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 387 grammes et renfermait 7 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait la $^1/_{3.52}$ partie du poids réel et il renfermait la $^1/_{10.61}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.331.

Expérience n° II. — Lapin pesant 1785 gr. Cette expé-

rience a été faite identiquement de la même façon que la précédente. Voici ses résultats :

L'animal pesait 1785 gr. et renfermait 87.5 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 450 gr. et renfermait 8.5 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait la $^1/_{3.56}$ partie du poids réel et il renfermait la $^1/_{10.29}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.343.

Expérience n° III. — Lapin pesant 2,080 gr. Cette fois nous avons pratiqué l'injection de chloral (5 gr.) non pas dans les veines, mais dans le tissu cellulaire sous-cutané. Le sommeil s'est établi beaucoup plus lentement que dans les deux expériences précédentes, mais il nous a paru plus profond.

Voici d'ailleurs les résultats obtenus :

L'animal pesait 2,080 gr. et renfermait 98 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 542 gr. et renfermait 9.5 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait la $^1/_{3.38}$ partie du poids réel et il renfermait la $^1/_{10.31}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.327.

Tels sont les résultats fournis par les trois expériences faites sur les animaux endormis, présentant la résolution musculaire complète ; on peut voir qu'ils sont très concordants dans toutes leurs parties, et qu'il est possible d'établir des moyennes s'éloignant très peu des chiffres extrêmes :

Le tiers postérieur dépourvu de sang y pèse en moyenne

la $^{1}/_{3.48}$ partie environ du poids total du eorps également exsangue. Si l'on ne déduit pas le poids du sang, le rapport devient de quelques dixièmes plus petit ($^{1}/_{3.61}$ environ) par ee motif que la capacité sanguine de la région que nous étudions en ce moment est inférieure à l'unité.

La quantité moyenne de sang trouvée, dans le tiers postérieur du corps, est égale au $^{1}/_{10.4}$ de la masse totale du sang.

La eapaeité sanguine moyenne se représente par 0.334 environ.

—

2°. — Animal curarisé. — *Résolution musculaire moins prononcée.* — Une expérience.

Expérience n° IV. — Lapin pesant 1620 gr. Dans eette expérience nous avons injeeté un eentigramme de eurare dans la veine jugulaire ; son aetion sur les muscles s'étant manifestement produite au bout de trois minutes, nous n'avons pas tardé à terminer l'opération afin de prévenir l'altération des mouvements respiratoires. On sait, en effet, que la première influence exereée par le eurare est une résolution museulaire sans eonvulsions et l'abolition de tout mouvement volontaire ; plus tard survient l'arrêt des mouvements de la respiration, lequel provoque à son tour l'arrêt du cœur. Ces diverses manifestations n'ayant pas eu le temps de se montrer dans notre expérience, nous eroyons qu'elle s'est effeetuée sans erreur appréeiable.

Voici les résultats qu'elle nous a fournis :

L'animal pesait 1620 gr. et renfermait 78.4 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 415 gr. et renfermait 8.4 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait la $^1/_{3.47}$ partie du poids réel et il renfermait la $^1/_{9.33}$ partie du sang total.

Sa capacité vasculaire était de 0.371.

On voit que dans cette expérience, où la résolution musculaire était moindre que dans la précédente, la quantité de sang s'est élevée de $^1/_{10.4}$ à $^1/_{9.33}$ et la capacité sanguine, qui était 0.334, devient 0.371.

—

3° Animaux a l'état de veille, muscles en repos. — *Tonicité musculaire.* — trois expériences.

Dans ces expériences, nous avons voulu surprendre les muscles dans cet état intermédiaire qu'on appelle le *tonus musculaire*, et qui n'est, comme nous l'avons déjà fait remarquer, ni la contraction, ni le relâchement complet. Pour atteindre ce but nous ne pouvions pas endormir les animaux en observation, et d'autre part nous n'étions pas davantage autorisé à les abandonner à leurs propres mouvements ; car dans ce dernier cas, quelque attitude qu'ils prissent, les muscles des membres postérieurs eussent été contractés, légèrement au moins. Afin d'obvier à ce double inconvénient nous avons laissé les animaux couchés sur le chevalet, de manière à laisser leurs membres dans un repos absolu, mais

sans toutefois leur enlever leur tonicité. De cette façon la différence était parfaitement tranchée, ce qui était indispensable pour nous former une opinion bien nette.

Ces trois expériences ayant été faites d'après les mêmes règles et dans des conditions tout à fait identiques, nous en donnons les résultats ci-dessous l'un à la suite de l'autre :

Expérience n° V. — L'animal pesait 1760 gr. et renfermait 87.2 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 486 gr. et renfermait 10.2 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait la $^1/_{3.22}$ partie du poids réel et il renfermait la $^1/_{8.54}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.377.

Expérience n° VI. — L'animal pesait 1700 gr. et renfermait 82 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 495 gr. et renfermait 10.3 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait la $^1/_{3.07}$ partie du poids réel et il renfermait la $^1/_{7.96}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.385.

Expérience n° VII. — L'animal pesait 1645 gr. et renfermait 80 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 390 gr. et renfermait 8 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait la $^1/_{3.75}$ partie du poids réel et il renfermait la $^1/_{10}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.375.

Si nous établissons les moyennes de ces trois expériences comme nous l'avons fait pour les trois premières, nous voyons ici que le tiers postérieur pèse environ la $^1/_{3.35}$ partie du poids réel de l'animal, ce qui ne s'éloigne pas beaucoup des fractions $^1/_{3.48}$ et $^1/_{3.47}$ trouvées respectivement pour les groupes 1 et 2 de cette série.

La quantité de sang répandue dans le tiers postérieur du corps devient environ la 1/8.8 partie de la masse totale du sang (au lieu de $^1/_{10.4}$ dans le 1er groupe et $^1/_{9.33}$ dans le second) ; et enfin la capacité sanguine de la même région, qui avait été représentée par 0.334 dans le 1er groupe et par 0.371 dans le second, devient ici 0.379.

De tous ces résultats il se détache ce fait extrêmement intéressant, que la quantité de sang qui baigne un muscle au repos est variable, et qu'elle est d'autant moindre que celui-ci se rapproche davantage de la résolution complète.

Pour rendre ce principe plus évident, réunissons dans un seul tableau les données fournies par les trois groupes d'expériences ; la gradation en sera d'autant plus appréciable.

—

Il est une remarque digne d'être faite ici et qui prouve toute l'utilité de la recherche de la *capacité sanguine.* En effet, si nous examinons les résultats de l'expérience n° VII, nous y trouvons que le sang contenu dans le tiers postérieur du corps n'est que le $^1/_{10}$ de la masse totale, tandis que les deux autres expériences du même groupe donnent pour cette quantité la

fraction $1/8$ environ. L'écart est trop grand, et semblerait même prouver que le phénomène que nous étudions ne suit pas une marche uniforme. Il n'en est cependant pas ainsi ; car si nous considérons le rapport en poids de l'organe exsangue, nous constatons que lui aussi est inférieur aux poids précédents, ce qui prouve, ou bien que notre ligature a été placée trop bas, ou bien que le tiers postérieur du corps, chez cet animal, était dans un rapport moindre avec la totalité du corps que chez les deux précédents. Mais ce qu'il est bon de remarquer, et c'est le point sur lequel nous appelons l'attention du lecteur, c'est que la *capacité sanguine n'a pas été modifiée,* puisqu'elle est égale à 0.375 alors qu'elle était dans les deux autres expériences, respectivement 0.377 et 0.385, qui sont évidemment des valeurs semblables. Cela démontre que l'organe que nous avons enlevé était relativement plus petit, mais la *répartition du sang* y était la même que chez les animaux précédents, et c'est le fait le plus important.

—

EXPÉRIENCES SUR LES MUSCLES. (tiers postérieur du corps). — 1e Série.

GROUPE	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	ÉTAT DES MUSCLES	Poids de l'animal	Quantité de sang dans la totalité du corps	Quantité de sang trouvée dans le tiers postérieur	Rapport de cette quantité à la masse totale	Poids de l'animal exsangue et abstraction faite des résidus digestifs	Poids du tiers post. du corps dépourvu de sang	Rapport de cette quantité au poids de l'animal exsangue	Capacité sanguine
			gr.	c. c.	c. c.		gr.	gr.		
1°	I	Résolut. muscul.	1532	74 30	7 00	$^{1}/_{10\ 61}$	1336	379	$^{1}/_{3\ 52}$	0 331
	II	Résolut. muscul.	1785	87 50	8 50	$^{1}/_{10\ 29}$	1571	440	$^{1}/_{3\ 56}$	0 343
	III	Résolut. muscul.	2080	98 00	9 50	$^{1}/_{10\ 31}$	1800	532	$^{1}/_{3\ 38}$	0 327
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2°	IV	Animal curarisé	1620	78 40	8 40	$^{1}/_{9\ 33}$	1410	406	$^{1}/_{3\ 47}$	0 371
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3°	V	Tonus musculaire	1760	87 20	10 20	$^{1}/_{8\ 54}$	1531	475	$^{1}/_{3\ 22}$	0 377
	VI	Tonus musculaire	1700	82 00	10 30	$^{1}/_{7\ 96}$	1486	484	$^{1}/_{3\ 07}$	0 385
	VII	Tonus musculaire	1645	80 00	8 00	$^{1}/_{10\ 00}$	1432	381	$^{1}/_{3\ 75}$	0 375

IIe série. — Muscles en activité

Dans cette deuxième série, nous avons fait cinq expériences avec des degrés divers de contraction, afin de nous assurer d'abord si d'une façon générale les muscles renferment une quantité de sang différente pendant l'activité et pendant le relâchement ; ensuite si dans le travail musculaire le sang contenu dans les muscles est variable comme dans le repos, et s'il est en rapport avec l'énergie même de la contraction.

Pour atteindre ce but, nous avons, dans une première expérience, placé les muscles sous l'influence de la strychnine dans une contraction permanente de peu d'intensité. On sait d'ailleurs qu'après l'absorption de cet alcaloïde, ce sont surtout les muscles extenseurs qui sont le siège de convulsions toniques.

Nous avons ensuite soumis deux animaux à l'excitation électrique de la moelle.

Enfin dans deux dernières expériences nous avons porté l'excitation électrique directement sur les nerfs sciatiques mis à nu, ce qui a provoqué les contractions les plus puissantes.

Nous divisons donc la description de ces expériences en trois groupes comme nous l'avons déjà fait dans la 1re série.

—

1° ANIMAL STRYCHNINÉ. — *Convulsions toniques des muscles, surtout des extenseurs.* — UNE EXPÉRIENCE.

Expérience n° VIII. — Lapin pesant 1540 grammes.

L'animal étant fixé comme d'habitude au chevalet de Czermak et après lui avoir extrait un centimètre cube de sang, nous lui injectons une solution de 4 centigrammes de strychnine. — Le tétanos des extenseurs se produit au bout de cinq minutes. Nous le laissons se prolonger pendant dix secondes et nous terminons l'opération de la manière accoutumée.

Voici les résultats qu'elle nous donne :

L'animal pesait 1540 grammes et il renfermait 74.5 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 420 grammes et il renfermait 9 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait le $^{1}/_{3.26}$ du poids réel et il renfermait la $^{1}/_{8.27}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était 0.394.

—

2° Excitations électriques de la moelle. — *Contraction musculaire intense.* — Deux expériences.

Expérience n° IX. — Lapin pesant 1870 grammes. Nous avons produit cette excitation de la moelle, en plaçant les deux rhéophores d'une pile de Bunsen sur la colonne vertébrale, au niveau de la région sacro-lombaire. Immédiatement les muscles se sont contractés assez fortement, et au bout de 5 ou 6 secondes nous avons terminé l'expérience comme d'habitude. Nous n'avons pas tout à fait délié les membres ; de cette façon la contraction musculaire (flexion) n'a pas pu se faire complètement.

Voici les résultats obtenus :

L'animal pesait 1870 grammes et il renfermait 91.5 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 505 grammes et il renfermait 13.5 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait le $^1/_{3.35}$ du poids réel et il renfermait la $^1/_{6.77}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.494.

Expérience n° X. — Cette expérience s'est faite identiquement dans les mêmes conditions que la précédente.

Voici ses résultats :

L'animal pesait 1910 grammes et il renfermait 93.6 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 500 grammes et il renfermait 13.5 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait la $^1/_{3.87}$ partie du poids réel et il renfermait la $^1/_{6.93}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.500.

Ces deux expériences nous donnent donc pour le rapport en sang une moyenne de $^1/_{10.85}$ environ, et pour la capacité sanguine 0.497.

—

3° EXCITATIONS ÉLECTRIQUES PORTÉES DIRECTEMENT SUR LES NERFS SCIATIQUES. — *Contraction musculaire très énergique.* — DEUX EXPÉRIENCES.

Expérience n° XI. — Lapin pesant 2,442 grammes. Après

avoir enlevé un c. c. de sang, nous avons dénudé les deux nerfs sciatiques au moment de leur sortie du petit bassin, et nous les avons excités simultanément par un courant électrique de moyenne intensité. La contraction a été naturellement très énergique et instantanée; après quelques secondes, trois ou quatre au plus, nous avons achevé l'expérience de la manière accoutumée, mais encore une fois sans avoir délié complètement les membres, de manière à obtenir une contraction musculaire très énergique, mais n'atteignant pas son degré maximum.

Les résultats fournis par cette expérience sont les suivants:

L'animal pesait 2,442 grammes et renfermait 119 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 536 grammes et renfermait 15 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait la $^1/_{4.13}$ partie du poids réel et il renfermait la $^1/_{7.93}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.520.

Nous pouvons faire à propos de cette expérience la même remarque que pour l'expérience n° VII. Et en effet, alors que dans les deux expériences précédentes la région que nous étudions avait une capacité sanguine moindre que dans celle-ci, le rapport en sang y était cependant plus élevé. Mais si nous considérons d'autre part le rapport en poids de l'organe exsangue, nous voyons aussi qu'il est notablement plus petit qu'antérieurement, puisque de $^1/_{3.30}$ qu'il était en moyenne il tombe ici à $^1/_{4.13}$, ce qui fait une réelle différence. Évidemment, si cette portion de l'animal, relativement beau-

coup plus petite que les portions analogues dans les autres observations, renfermait la même quantité de sang que ces dernières, sa capacité sanguine serait beaucoup plus élevée. Cela n'étant pas, il est évident que la quantité de sang doit aussi être moindre, et c'est ce qui explique ce chiffre d'apparence anormale de $^{1}/_{7.93}$. En résumé nous tenons à faire remarquer que, dans ces circonstances, le rapport en sang n'a par lui-même aucune valeur pas plus que le rapport en poids isolé ; la seule quantité qui fournisse une idée exacte de la proportion de sang renfermée dans l'organe en expérience, c'est précisément ce que nous avons appelé la *capacité sanguine*, c'est-à-dire la valeur relative des deux rapports précités. Cela est d'autant plus vrai que le tiers postérieur du corps n'étant pas un organe parfaitement délimité, comme les poumons par exemple, il peut arriver que la portion comprise dans la ligature ne soit pas toujours mathématiquement la même ; c'est dans ce cas que la capacité sanguine est d'une réelle utilité.

Expérience n° XII. — Lapin pesant 1637 grammes. Dans cette expérience nous avons encore dénudé les deux nerfs sciatiques ; mais ici, au lieu de ne permettre qu'une demi-contraction, nous avons détaché les membres postérieurs de manière à provoquer une contraction complète pouvant atteindre son maximum d'intensité. Dans cette expérience, les membres postérieurs étaient, au moment de la fermeture de l'écraseur, dans la flexion forcée. Voici les résultats qu'elle nous a donnés :

L'animal pesait 1637 grammes et renfermait 72 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait 465 grammes et renfermait 15 c. c. de sang.

Le tiers postérieur pesait la $^1/_{3.19}$ partie du poids réel et il renfermait la $^1/_{4.80}$ partie du sang total.

Sa capacité sanguine était de 0.664.

Ces derniers chiffres sont les plus élevés que nous ayons atteints dans nos deux séries d'expériences et, comme on peut le constater, la différence est excessivement prononcée.

Réunissons d'ailleurs toutes les données fournies par cette IIe série dans un tableau, où les résultats de nos observations seront plus aisément appréciés.

—

EXPÉRIENCES SUR LES MUSCLES (tiers postérieur du corps). — 2e Série

GROUPE	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	ÉTAT des MUSCLES	Poids de l'animal	Quantité de sang dans la totalité du corps	Quantité de sang trouvée dans le tiers postérieur	Rapport de cette quantité à la masse totale	Poids de l'animal exsangue et abstraction faite des résidus digestifs	Poids du tiers postérieur du corps dépourvu de sang	Rapport de cette quantité au poids de l'animal exsangue	Capacité sanguine
			gr.	c. c.	c. c.		gr.	gr.		
1°	VIII	Contr. peu pron.	1540	74 50	9 00	1/8 27	1339	410	1/5 26	0 394
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2°	IX	Contr. plus forte	1870	91 50	13 50	1/6 77	1646	490	1/5 33	0 494
	X	Contr. plus forte	1910	93 60	13 50	1/6 95	1684	485	1/5 47	0 500
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3°	XI	Contr. très forte	2442	119 00	15 00	1/7 93	2144	519	1/4 15	0 520
	XII	Max. de contrac.	1637	72 00	15 00	1/4 80	1433	448	1/3 19	0 664

Pour mieux encore nous rendre compte du mécanisme de la circulation sanguine dans les muscles, rapportons enfin en une seule table tous les résultats obtenus dans nos deux séries d'expériences, et donnons-en, de plus, les moyennes respectives.

Nous devons faire remarquer que les moyennes indiquées dans ce tableau ne sont qu'*approximatives.* La recherche des moyennes exactes eût abouti à des fractions à numérateur et à dénominateur très élevés, et par le fait, ne permettant aucune comparaison avec les fractions existantes prises isolément. Nous avons cru préférable de conserver pour numérateur l'*unité*, quitte à donner des résultats se rapprochant très sensiblement de la vérité.

—

EXPÉRIENCES SUR LES MUSCLES. — TABLEAU RÉSUMÉ

SÉRIE	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	NATURE DE L'EXPÉRIENCE	ÉTAT DES MUSCLES	Rapport exact du poids du 1/3 postérieur du corps au poids total	Rapport moyen	Rapport exact de la quantité de sang contenue dans le 1/3 postérieur du corps à la masse totale	Rapport moyen	Capacité sanguine exacte	Valeur moyenne
I	I	Animal endormi	Résolution musculaire complète	1/3 52		1/10 01	1/10.4	0,331	0,334
	II	Animal endormi	Résolution musculaire complète	1/3 50		1/10 29		0,343	
	III	Animal endormi	Résolution musculaire complète	1/3 38		1/10 31		0,327	
	—	—	—	—		—	—	—	—
	IV	Animal curarisé	Résolution musculaire incomplète	1/3 47	1/3,45	1/9 33	1/9,33	0,371	0,371
	—	—	—	—		—	—	—	—
	V	État de veille. Repos	Tonus musculaire normal	1/3 22		1/8 54	1/8,80	0,377	0,379
	VI	État de veille. Repos	Tonus musculaire normal	1/3 07		1/7 00		0,385	
	VII	État de veille. Repos	Tonus musculaire normal	1/3 75		1/10 00		0,375	
II	VIII	Injection de strychnine	Convulsions toniques des extenseurs	1/3 26		1/8 27	1/8,27	0,394	0,394
	—	—	—	—		—	—	—	—
	IX	Excitat. électrique sur la moelle	Contraction musculaire assez prononcée	1/3 38	1/3,48	1/6 77	1/6,85	0,494	0,497
	X	Excitat. électrique sur la moelle	Contraction musculaire assez prononcée	1/3 47		1/6 93		0,500	
	—	—	—	—		—	—	—	—
	XI	Excitat. élect. sur les sciatiques	Contraction musculaire très prononcée	1/4 13		1/7 05	1/6,36	0,520	0,592
	XII	Excitat. élect. sur les sciatiques	Maximum de contraction. Membres déliés	1/3 10		1/4 80		0,664	

§ 4. — Conclusions

Examinons maintenant ce tableau et comparons entre elles les données de nos expériences, nous constaterons que toutes les valeurs obtenues suivent une progression ascendante depuis l'expérience I jusqu'à l'expérience XII ; de plus l'écart entre les deux extrêmes est assez considérable, puisque dans la première observation le tiers postérieur du corps ne renfermait que la $^1/_{11}$ partie environ de la masse totale du sang, tandis que dans la XIIe nous voyons la même région contenir au contraire la $^1/_5$ partie environ de la masse totale. La capacité sanguine est respectivement dans ces deux cas de 0.331 (pour la Ire) et de 0.664 (pour la XIIe).

D'autre part, si nous tenons compte des colonnes 3 et 4, nous constatons que le minimum de sang correspond précisément au minimum d'activité (résolution musculaire complète), tandis que le maximum de sang correspond au maximum de contraction (tétanos prolongé par excitation des sciatiques).

Cela tend à prouver qu'il y a plus de sang dans les muscles pendant la contraction que pendant le relâchement; mais ce n'est pas tout : poussons l'examen comparatif plus loin, et nous constaterons d'une part :

Que CHAQUE FOIS *que les muscles sont contractés, ils renferment plus de sang que lorsqu'ils sont au repos;*

Et d'autre part :

Que dans le relâchement la quantité de sang est d'autant moindre que la résolution, c'est-à-dire l'inactivité, est plus complète ;

Que dans la contraction, au contraire, la quantité de sang est d'autant plus grande que le travail est plus considérable.

En d'autres termes, en examinant avec soin et dans tous leurs détails les résultats de nos expériences, nous sommes amené à conclure, en définitive, que *la quantité de sang contenue dans les muscles paraît être proportionnelle à leur degré d'activité.*

—

Quelques faits d'ordre purement chimique, mais d'une certaine importance, viennent à l'appui de cette opinion :

1° On sait que les muscles absorbent d'autant plus d'oxygène qu'ils fonctionnent plus activement ; cela s'explique, puisque le phénomène chimique de la contraction musculaire, c'est l'*oxydation.* Mais si l'énergie de l'oxydation est proportionnelle à l'intensité de la contraction, il est rationnel de supposer que l'appel du sang sera en rapport avec le besoin d'oxygène. D'ailleurs, dans tout phénomène d'oxydation ce n'est pas seulement l'élément oxydant qui s'épuise : il faut encore que l'élément oxydable se renouvelle sans interruption. Or, le sang étant la source à la fois de l'élément oxydable et de l'élément oxydant, il est évident qu'il se distribuera avec d'autant plus d'abondance dans une région, que la dépense des matériaux qu'il fournit s'y fera d'une manière plus considérable.

2° On a remarqué que le sang veineux venant d'un muscle au repos absolu (dont les nerfs moteurs avaient été coupés), était *rouge* comme le sang artériel ;

Que si le muscle était au repos normal, c'est-à-dire dans l'état de tonicité, le sang était *bleuâtre;*

Enfin que quand le muscle était en contraction le sang veineux en sortait *noir*.

On a également déduit de ces expériences que l'oxydation, c'est-à-dire le travail chimique, était proportionnelle à la contraction, c'est-à-dire au travail mécanique ; il y a donc encore une fois un rapport constant entre l'activité musculaire et la consommation des éléments d'oxydation. Mais si les matériaux sont utilisés en plus grande abondance, ils doivent être plus rapiment renouvelés ou remplacés, et en conséquence la circulation doit devenir plus active.

3° Il a été prouvé, il y a quelque temps déjà, que " toute " gêne de la circulation entraîne une diminution de la contraction, et même l'abolition complète de la contractilité " si le sang artériel cesse d'arriver au muscle. Au contraire, " l'afflux plus considérable du liquide nourricier exagère la " force des mouvements (1)." Cela revient à dire, en définitive, que si les mouvements sont plus forts ou plus nombreux, il faut aux muscles une quantité de sang artériel plus grande, et partant, la circulation doit devenir plus rapide.

4° Enfin il a été souvent observé, d'une manière directe,

(1) Legros et Onimus. Influence des courants électriques sur la circulation du sang. (*Gazette méd. de Paris*, 1868, p. 304.)

“ que les mouvements musculaires accélèrent considérable-
” ment la circulation ; la respiration devient aussi plus fré-
” quente, et l'oxygène afflue en plus grande quantité dans
” le sang artériel. ”

Voilà sans aucun doute la consécration de tous les faits signalés par nous, car si la circulation générale s'accélère, c'est évidemment que “ la circulation est plus considérable ” dans les muscles actifs [1], ” et c'est en résumé le principe fondamental auquel ont abouti toutes les expériences que nous avons entreprises.

—

Après avoir énuméré les résultats de nos observations, nous avons ainsi rappelé succinctement les principaux faits admis et prouvés concernant la circulation musculaire, et nous avons constaté que ces faits, bien loin de s'opposer aux conclusions que nous avons émises, ne font que les appuyer davantage. De cette façon nous confirmons une hypothèse qui avait été proposée relativement à la répartition du sang dans les muscles, et nous croyons qu'il n'existe plus aucun obstacle sérieux à l'admettre définitivement, convaincu que nous sommes d'ailleurs de son entière vérité.

(1) Legros et Onimus. Loc. cit.

RÉSUMÉ

—

Avant de terminer, il ne sera pas inutile, pensons-nous, de rappeler très brièvement les nombreux faits que nous avons rencontrés dans le cours de cet ouvrage, et d'énoncer successivement les principes qui y ont été démontrés, chapitre par chapitre. De cette manière il ne subsistera aucun doute, et les conclusions finales se présenteront d'autant plus clairement à l'esprit du lecteur.

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

Nous avons examiné dans quelles conditions il faut placer les organes que l'on soumet aux expériences sur la circulation du sang, et après avoir montré que ni les recherches sur

le cadavre, ni le procédé des circulations artificielles ne conviennent à nos travaux, nous avons prouvé qu'il fallait nécessairement avoir recours à l'expérimentation sur les animaux vivants.

CHAPITRE II

Nous avons passé en revue les différents moyens d'évaluer le sang contenu dans un organe extirpé ; nous avons ainsi rencontré les méthodes par évaluation directe, par analyse chimique, par numération des globules, par colorimétrie, par analyse spectrale ; nous avons discuté la valeur de chacune d'elles et nous avons enfin désigné la méthode colorimétrique de Welcker comme étant la plus sensible et la plus pratique à la fois.

CHAPITRE III

Dans ce chapitre, que nous avons consacré tout entier à la description détaillée de la méthode suivie dans nos recherches, nous avons approfondi plus spécialement deux points importants :

1° Nous nous sommes demandé s'il serait possible de surprendre la circulation sanguine dans un organe à un moment donné, et tout en laissant celui-ci dans des conditions, sinon absolument normales, au moins incapables de modifier sérieusement ses fonctions physiologiques. Nous avons répondu affirmativement à la question, nous basant sur ce fait que tout organe possède des vaisseaux affé-

rents et des vaisseaux efférents, et qu'il suffirait d'arrêter simultanément, au moyen de ligatures préparées à l'avance, la circulation du sang dans ces deux ordres de vaisseaux pour remplir incontestablement toutes les conditions du problème. C'est l'idée que nous avons mise en pratique, et quant au manuel opératoire, nous l'avons exposé d'une manière complète, immédiatement avant l'étude de chaque organe en particulier, dans la IIe partie de ce travail.

2° Au point de vue de l'évaluation du sang, nous avons modifié dans une certaine mesure la méthode colorimétrique de Welcker, et nous l'avons adaptée le plus utilement possible aux expériences que nous voulions instituer, tout en simplifiant les calculs et en augmentant la précision et la netteté des résultats.

CHAPITRE IV

Avant de rien conclure de nos expériences, il était nécessaire de vérifier la valeur de notre méthode et de tenir compte des principales objections qui semblaient pouvoir lui être présentées. — Nous avons spécialement rencontré dans ce chapitre celles qui s'adressaient à l'évaluation colorimétrique des solutions sanguines, et nous croyons pouvoir affirmer que nous y avons suffisamment répondu.

CHAPITRE V

Aux explications théoriques qui précèdent, nous avons ajouté une série d'épreuves directes (colorimètre de Duboscq, numé-

ration des globules, etc.), et ces expériences nouvelles ont pleinement confirmé l'exactitude de notre procédé.

CHAPITRE VI

Il restait à interpréter les résultats obtenus, ou tout au moins il fallait les représenter d'une façon telle qu'il fût possible de les comparer entre eux, et de prendre les conclusions que comportait l'étude que nous avions entreprise. A cet effet nous avons proposé deux valeurs : l'une que nous avons appelée le rapport en sang, l'autre la capacité sanguine. Nous avons pu fournir ainsi, pour chaque organe, une double formule mathématique, indiquant exactement, la première sa richesse en sang relativement à la masse totale, la seconde sa richesse absolue.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE PREMIER

Ce chapitre a été consacré à l'examen de la répartition du sang circulant normalement dans les poumons à la pression moyenne de 760^{mm} de Hg. — Nos expériences nous ont démontré les faits suivants :

1° Les poumons en inspiration renferment en moyenne la $^{1}/_{13}$ partie environ de la masse totale du sang chez le lapin ;

Leur capacité sanguine est représentée par le chiffre moyen de 13.

2° Les poumons en expiration renferment en général la $^1/_{18}$ partie environ de la masse totale du sang;

Et leur capacité sanguine est représentée par le chiffre moyen de 9.

3° Ces valeurs ne se modifient pas, alors même que le cœur subit l'influence des pressions variables qui s'exercent sur lui, pendant la respiration naturelle.

4° Une insufflation d'air comprimé (à 6 centim. de Hg) dans la trachée, la pression extérieure restant la même, chasse le sang contenu dans les poumons au point de réduire le rapport en sang à $^1/_{60}$ et la capacité sanguine à 3.

CHAPITRE II

Nous avons examiné expérimentalement la valeur de cette opinion généralement admise aujourd'hui : que l'air raréfié aurait la propriété d'attirer d'une manière permanente le sang vers la périphérie. Nous avons prouvé par les données théoriques et par nos expériences personnelles que cela ne saurait se réaliser. — Nous avons montré comment une certaine aspiration du sang vers les organes périphériques pouvait se produire, à la vérité, pendant une ascension, surtout si celle-ci était rapide et de longue durée. Mais nous avons dû admettre que cet effet était momentané, et que pendant le séjour dans les montagnes la répartition du sang redevenait bientôt ce qu'elle était avant l'ascension.

D'autre part, nous avons émis l'opinion, contrairement à certains auteurs, que les poumons sont des organes périphériques (par rapport à l'atmosphère ambiante, bien entendu),

et qu'en conséquence, bien loin de produire une influence favorable, comme le prétendent ces mêmes auteurs, le séjour dans les régions élevées serait extrêmement dangereux, si réellement l'air raréfié attirait le sang à la périphérie. Une semblable action maintiendrait, en effet, une congestion permanente dans l'organe pulmonaire.

Nous en avons conclu que les heureux résultats constatés parfois par le séjour dans certaines contrées d'altitude, devaient être attribués non pas à une action mécanique sur la circulation, mais en réalité aux actions combinées d'un grand nombre de facteurs parmi lesquels nous avons cité : la pureté de l'air, l'absence de brouillards et d'humidité, la constance de la T° ; l'action mécanique de l'air raréfié sur les mouvements respiratoires, le développement plus grand des fonctions digestives, et enfin et surtout le mode de vie particulièrement hygiénique suivi par les malades dans ces stations sanitaires.

Nous avons terminé en rappelant que pendant l'ascension le sang était réellement attiré vers la périphérie, mais que, bien loin de constituer une influence favorable, c'était là au contraire un danger sérieux pour les malades prédisposés aux hémoptysies, puisque les poumons sont des organes périphériques. Nous avons donc émis l'avis que le transport de certains phtisiques dans les hautes régions devait s'effectuer en plusieurs étapes, et avec beaucoup de précautions. — Nous avons même pensé que, dans le cas où l'on voudrait appliquer ce mode de traitement, il ne serait pas inutile de soumettre préalablement le malade, à titre d'essai, à des atmosphères

peu raréfiées, ne dépassant pas quelques centaines de mètres d'élévation, de 500 à 600 par exemple, quitte à modifier ultérieurement cette première prescription selon les indications.

CHAPITRE III

La question de la circulation encéphalique a été longtemps discutée, et jusqu'à ce jour on ne paraissait pas avoir fait d'expériences concluantes, puisque deux opinions diamétralement opposées, l'une admettant l'anémie cérébrale, l'autre la congestion pendant le sommeil, sont restées en présence. — Nous avons appliqué notre procédé à cette étude, et nous avons constaté que l'encéphale, pris dans sa totalité, renferme toujours beaucoup plus de sang à l'état de veille qu'à l'état de sommeil.

A l'état de veille la tête renferme en moyenne la $^1/_8$ partie de la masse totale du sang, et sa capacité sanguine est représentée par le nombre 1,25.

A l'état de sommeil elle ne renferme que la $^1/_{12}$ partie environ de la masse totale du sang, et sa capacité sanguine descend à 0,85.

CHAPITRE IV

La circulation du sang dans les muscles a été très peu étudiée. — Quoique rien n'ait été prouvé à cet égard, l'opinion le plus généralement admise a été que les muscles renfermaient beaucoup plus de sang lorsqu'ils étaient relâchés que lorsqu'ils se trouvaient en état de contraction. Aujourd'hui,

après avoir fait plusieurs séries d'expériences directes à ce sujet, nous déclarons qu'il en est tout autrement.

La quantité de sang circulant dans un muscle est d'autant plus considérable qu'il est plus contracté.

Nous avons trouvé le minimum de sang pendant le maximum de relâchement, et nous avons au contraire constaté le maximum de sang pendant le maximum de contraction.

Les chiffres extrêmes ont été les suivants :

$^1/_{10}$ de la masse totale du sang pendant le relâchement, et une capacité sanguine de 0,334 ;

$^1/_6$ de la masse totale du sang pendant la contraction, et une capacité sanguine de 0,592.

Nous pouvons donc affirmer que la quantité de sang renfermée dans un muscle est proportionnelle au degré de contraction de ce muscle.

Tel est le résumé succinct des principaux faits que nous avons recueillis au cours de cette étude. — Pour terminer, nous indiquerons les quelques conclusions générales qui nous semblent se dégager de tout ce qui vient d'être exposé.

CONCLUSIONS FINALES

I

Les expériences que nous avons entreprises sur l'encéphale, comme celles que nous avons faites sur les muscles, ont abouti à cette conclusion importante que *ces organes renferment précisément d'autant plus de sang que leur activité est plus grande; de manière que c'est lorsqu'ils sont au repos absolu qu'ils renferment le minimum de sang, et que c'est au moment où ils fonctionnent le plus énergiquement qu'ils en contiennent au contraire le maximum.*

Du côté des poumons, nous avons rencontré, du reste, des phénomènes tout à fait analogues. Nous croyons effectivement que l'inspiration, pendant laquelle ces organes possèdent le plus de sang, constitue pour la fonction respiratoire, la période d'activité, tandis que l'expiration nous paraît être le retour de l'organe vers le repos physiologique; de telle façon que pendant la pause inspiratoire les poumons atteignent leur maximum de fonctionnement, tandis que pendant

la pause expiratoire ils se trouvent dans un repos presque absolu.

Deux faits nous semblent confirmer pleinement cette hypothèse. Le premier c'est que c'est pendant l'inspiration, et surtout pendant la pause inspiratoire, que les poumons contiennent le plus grand volume d'air et partant, d'oxygène. Or, la fonction des poumons consistant à absorber ce dernier gaz et à rejeter l'acide carbonique, il faut admettre que c'est au moment où ils sont en contact avec la plus grande masse d'oxygène et la plus petite quantité d'acide carbonique qu'ils fonctionnent le plus activement. Le deuxième fait, c'est que l'état de repos des poumons n'est pas l'inspiration pendant laquelle ils sont *distendus* (attirés par les muscles inspirateurs), mais bien l'expiration pendant laquelle ils reviennent sur eux-mêmes en vertu de leur propre élasticité. Si l'on supprime le vide pleural; en mettant la cavité de la plèvre librement en communication avec l'air atmosphérique, le poumon se trouve en expiration permanente, il reste immobile et ne fonctionne plus. Preuve de plus que l'inspiration doit être considérée comme la période de travail de l'appareil pulmonaire.

Or, nos expériences nous ont montré à toute évidence que *c'est à l'inspiration que les poumons renferment le plus de sang;* l'organe respiratoire participe donc absolument à la loi qui régit le fonctionnement de l'encéphale et des muscles.

D'autre part, Claude-Bernard [1] nous apprend que les

(1) Cité par DECHAMBRE.

glandes en activité renferment plus de sang que les glandes en repos. — Il a démontré que “ le pancréas rouge et turgescent, lorsqu'il fonctionne, est pâle et exsangue dès que la fonction est arrêtée. „

En résumé, toutes ces expériences aboutissant au même résultat, nous nous croyons autorisé à énoncer ce premier principe général : que LES ORGANES EN ACTIVITÉ SE CONGESTIONNENT, tandis que LES ORGANES EN REPOS SONT ANÉMIÉS (1).

Les causes de ce phénomène sont faciles à apprécier :

Chaque cellule a dans l'organisme un rôle spécial, parfaitement déterminé, et en rapport nécessaire avec ses propriétés anatomophysiologiques. Chaque tissu, chaque organe, ou pour mieux dire tout assemblage de cellules, a également son rôle propre, ses fonctions spéciales et dépendant directement de la nature même des éléments anatomiques entrant dans sa composition. Or, tous ces éléments, tous ces groupes d'éléments, ont besoin pour fonctionner d'un excitant naturel, d'un corps capable de les nourrir et de leur fournir les moyens d'atteindre le but, de remplir le rôle qui leur est assigné : cet excitant commun, c'est le sang. Que celui-ci vienne à manquer, toute fonction est interrompue, tout dégagement de force est supprimé, car lui seul est chargé d'apporter les matériaux destinés à entretenir les phénomènes d'assimilation et de désassimilation dont l'ensemble constitue la vie. Il est indispensable, dès lors, que le sang se porte en

(1) Physiologiquement, bien entendu.

abondance d'autant plus grande vers un organe, que celui-ci doit fonctionner avec plus d'énergie, et ainsi s'explique cette congestion physiologique régulièrement constatée par nos expériences dans les organes en activité.

II

La masse totale du sang étant normalement invariable, elle ne peut suffire à congestionner tous les organes à la fois, de même qu'elle est trop grande pour que tous les organes soient anémiés en même temps. La quantité de sang étant définie et limitée, il faut qu'elle se répartisse *inégalement* dans les différentes parties de l'économie, de manière qu'une région soit congestionnée lorsqu'une autre région est anémiée. Nos observations prouvent qu'à l'anémie correspond le repos, et à la congestion l'activité; en conséquence, *tous les organes ne sauraient fonctionner en même temps*, la masse totale du sang n'étant physiologiquement pas assez grande pour se répandre en quantité suffisante sur tous les points de l'économie. Il est donc nécessaire, LORSQUE QUELQUES ORGANES SONT EN ACTIVITÉ, QUE D'AUTRES SOIENT EN REPOS, en attendant que ceux-ci reprennent à leur tour les fonctions qu'ils avaient momentanément suspendues.

Mais le fonctionnement de *tous les organes* étant indispensable à la prolongation régulière de la vie, aucun de ceux-ci ne saurait rester longtemps dans le même état sans porter bientôt un préjudice plus ou moins grave à la santé

générale de l'être par l'abolition et l'exagération simultanées des fonctions de deux organes différents. — Ainsi s'expliquent ces ALTERNATIVES CONSTANTES DE REPOS ET DE MOUVEMENT que l'on constate dans toutes les parties de l'organisme, et qui sont en rapport avec les alternatives également inévitables d'anémie et de congestion sanguines.

Quant à l'ordre dans lequel ces phénomènes se succèdent, il dépend probablement de la combinaison plus ou moins régulière des actes réflexes et des actes volontaires propres à chaque individu; et c'est là sans doute l'un des facteurs qui interviennent le plus puissamment dans l'état de santé ou de maladie de l'être humain.

III

Après avoir montré la relation intime existant entre le degré d'activité fonctionnelle des organes et la quantité de sang qu'ils contiennent, tâchons de pénétrer le mécanisme, les conditions nécessaires à l'existence de ce double rapport.

La question n'est évidemment pas de savoir si la répartition sanguine dans les organes est la *cause* ou l'*effet* de l'acte qu'ils ont à accomplir; il nous suffit de constater qu'il y a une coïncidence régulière, une corrélation intime entre les deux phénomènes : sans rechercher lequel des deux provoque l'autre, nous pouvons affirmer qu'ils ne se produisent jamais l'un sans l'autre. Il y a donc un agent intermédiaire, chargé d'établir un rapport constant entre la

circulation du sang et la somme de travail à accomplir par un organe : cet agent c'est le *système nerveux.*

Comment celui ci peut-il exercer une influence sur la circulation sanguine?

Le système nerveux peut agir sur la circulation de deux manières :

1° Par action directe sur l'appareil cardiaque ;

2° Par l'intermédiaire des nerfs vaso-moteurs.

Dans le premier cas, c'est-à-dire lorsque le système nerveux modifie les contractions du cœur, il y a toujours apparition de phénomènes généraux plus ou moins importants, s'adressant à la fois à tous les appareils de l'économie, et se traduisant par des symptômes communs qui appartiennent plus spécialement à la pathologie qu'à la physiologie (1).

Dans le second cas, au contraire, grâce au mode de distribution des nerfs vaso-moteurs, l'action devient tout à fait partielle et circonscrite dans un territoire parfaitement limité.

Or, les phénomènes que nous avons étudiés dans ce travail se présentant en dehors de toute modification dans les mouvements du cœur, on ne peut les attribuer qu'à une influence locale, et par conséquent au système des nerfs vaso-moteurs.

Quant à la simultanéité de leur production, elle est facile à comprendre, si l'on veut bien se représenter que l'excitation nerveuse peut être envoyée en *même temps* dans deux ordres

(1) A l'appui de cette affirmation nous citerons deux observations très intéressantes publiées récemment par M. le professeur ROMMELAERE. (De l'accélération cardiaque extrême; In Annales de l'Université de Bruxelles. — Année 1883.) Dans ces deux cas il a été constaté 160 pulsations à la minute et plus. Cette accélération extrême a été provoquée par excitation d'origine réflexe du grand sympathique.

de nerfs : les nerfs *moteurs* proprement dits, c'est-à-dire ceux qui mettent en activité les éléments organiques : fibres ou cellules ; et les *vaso-moteurs*, c'est-à-dire ceux qui dilatent ou rétrécissent les vaisseaux de manière à fournir aux cellules la quantité de sang nécessaire à l'état d'activité ou de repos dans lequel les ont placées les fibres que nous avons appelées *motrices* proprement dites.

Dès lors nous voyons que ces deux phénomènes ne sont ni la cause ni l'effet l'un de l'autre, mais que tous deux puisent leur origine à une source commune, le *système nerveux.*

Pour finir la question complexe qui nous occupe, nous dirons donc, *quant à la répartition du sang dans l'économie :*

Que le sang circule constamment et se répand dans toutes les parties de l'organisme en vertu de la force initiale fournie par le cœur ;

Mais que sa *distribution* physiologique, c'est-à-dire son abondance momentanément plus ou moins grande dans tel ou tel point, est réglée par le système des nerfs vaso-moteurs.

De telle façon que si un organe quelconque doit entrer en activité, en même temps que les cellules fonctionnelles seront mises en action par des filets nerveux spéciaux, à ce destinés, en même temps les vaisseaux, sous l'impulsion des vaso-moteurs, fourniront à celles-ci des matériaux en quantité suffisante pour leur permettre l'accomplissement de leurs fonctions ; et les deux phénomènes, quoique indépendants

l'un de l'autre en apparence, seront cependant dans une connexion intime par l'intermédiaire de l'élément nerveux dans lequel ils auront tous deux puisé leur cause déterminante.

On peut donc dire que le sang est, en définitive, l'instrument au moyen duquel les nerfs exécutent toutes les fonctions inhérentes à la vie ; celles-ci trouvent leur origine première dans le système nerveux central ou périphérique, mais c'est le sang qui, sous la direction des vaso-moteurs, est chargé de poursuivre leur complète réalisation.

—

Ici se termine ce que nous avions à dire dans ce court exposé sur la répartition du sang circulant dans l'économie. Nous savons que notre sujet n'est pas encore épuisé, mais nous comptons en continuer l'étude, certain que nous sommes qu'elle sera féconde en résultats nouveaux, et qu'elle nous récompensera largement des efforts que nous aurons tentés.

THÈSES

—

I. — A l'état normal, le sang se porte en quantité d'autant plus grande dans un organe, que le travail à effectuer par ce dernier est plus considérable.

En effet :

a. Les *poumons* renferment plus de sang à l'inspiration qu'à l'expiration ;

b. L'*encéphale* renferme plus de sang pendant la veille que pendant le sommeil ;

c. Les *muscles* renferment plus de sang à l'état de contraction qu'à l'état de repos ;

d. Les *glandes* renferment plus de sang pendant la sécrétion qu'en dehors de ce moment (1).

II. — Le sang peut être considéré comme un levier réglé par les nerfs vaso-moteurs.

Toutes choses égales d'ailleurs, son abondance plus ou moins grande dans une partie quelconque de l'économie

(1) Claude-Bernard, loco citato.

intervient nécessairement dans l'accomplissement des phénomènes physiologiques, dont le point de départ se trouve du reste dans le système nerveux lui-même.

III. — Tout travail organique, toute manifestation vitale exigeant pour sa réalisation l'apport d'une certaine quantité de sang, et la masse totale de ce liquide restant sensiblement la même chez l'individu à l'état normal, il est indispensable que quand un organe fonctionne, un autre organe soit au repos ; d'où l'alternative nécessaire de repos et d'activité que l'on constate successivement dans chacune des parties de l'être vivant.

IV. — L'augmentation de vitesse du sang qui traverse les poumons est beaucoup plus sensible quand on augmente la pression négative intra-pleurale d'une certaine quantité, que quand on augmente la pression positive dans l'artère pulmonaire de la même quantité.

V. — A l'état *physiologique*, l'ampliation pulmonaire s'exécute grâce au vide pleural ; dans certains états pathologiques, le vide pleural n'est pas nécessaire pour assurer les phénomènes mécaniques de la respiration.

VI. — Les muscles tétanisés des membres inférieurs chez le lapin contiennent une quantité de sang plus grande que les muscles à l'état de repos ; c'est ce qui résulte des expériences suivantes :

SÉRIE	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	NATURE DE L'EXPÉRIENCE	ÉTAT DES MUSCLES	Rapport exact du poids du $^1/_3$ postérieur du corps au poids total	Rapport moyen	Rapport exact de la quantité de sang contenue dans le $^1/_3$ postérieur du corps à la masse totale	Rapport moyen	Capacité sanguine exacte	Valeur moyenne
I	I	Animal endormi	Résolution musculaire complète	1/3 52		1/10 61		0,331	
	II	Animal endormi	Résolution musculaire complète	1/3 50		1/10 20	**1/10.4**	0,343	**0,334**
	III	Animal endormi	Résolution musculaire complète	1/3 58		1/10 31		0,327	
	—	—	—	—		—	—	—	—
	IV	Animal curarisé	Résolution musculaire incomplète	1/3 47	**1/3,45**	1/9 33	**1/9,33**	0,371	**0,371**
	—	—	—	—		—	—	—	—
	V	État de veille. Repos	Tonus musculaire normal	1/3 22		1/8 54		0,377	
	VI	État de veille. Repos	Tonus musculaire normal	1/3 07		1/7 90	**1/8,80**	0,385	**0,379**
	VII	État de veille. Repos	Tonus musculaire normal	1/3 75		1/10 00		0,375	
II	VIII	Injection de strychnine	Convulsions toniques des extenseurs	1/3 20		1/8 27	**1/8,27**	0,394	**0,394**
	—	—	—	—		—	—	—	—
	IX	Excitat. électrique sur la moelle	Contraction musculaire assez prononcée	1/3 55		1/6 77	**1/6,85**	0,491	**0,497**
	X	Excitat. électrique sur la moelle	Contraction musculaire assez prononcée	1/3 47	**1/3,48**	1/6 93		0,500	
	—	—	—	—		—	—	—	—
	XI	Excitát. élect. sur les sciatiques	Contraction musculaire très prononcée	1/4 13		1/7 93	**1/6,36**	0,520	**0,592**
	XII	Excitat. élect. sur les sciatiques	Maximum de contraction. Membres déliés	1/3 19		1/4 80		0,664	

VII. — L'examen des urines a une grande importance en clinique, non seulement pour la détermination des substances anormales qui peuvent s'y rencontrer (albumine, sucre, bile, sang, pus), mais encore pour l'analyse QUANTITATIVE de certains corps qui se trouvent normalement dans ce liquide (urée, chlorures, phosphates), et dont l'abondance plus ou moins grande est en rapport avec certains états pathologiques.

FIN